énerSage

Pour l'industrie
et le commerce

ÉCONOMIE DE CHAUFFAGE, DE CLIMATISATION ET D'ÉCLAIRAGE 2

Énergie, Mines et Ressources Canada
Bureau de la conservation de l'énergie

Energy, Mines and Resources Canada
Office of Energy Conservation

92-06174/

Comité de révision de la rédaction

N.R. Jones, Dominion Textile Limitée

J.C. Hungate, Canron Limitée

R.L. Tucker, 3M Canada Limitée

W.I. Service, 3M Canada Limitée

P.A. Mitcham, International Harvester Canada Ltd.

D. Heins, Hydro-Ontario

Jack Rudniski, La General Motors du Canada Ltée

Heiki Aus, La General Motors du Canada Ltée

Gary Hammet, La General Motors du Canada Ltée

Carl Wintermeyer, La General Motors of Canada Ltée

G. Campagnola, Uniroyal Ltd.

J.C. Peterson, Uniroyal Ltd.

G.S. Duffus, Westinghouse Canada Limitée

A.C.S. Hayden, Laboratoire canadien de recherche sur la combustion

R.C. Walterson, Thames Valley Beverages Ltd.

Table des matières

Introduction	1
Système de chauffage, de ventilation et de climatisation de l'air	1
Conseils visant à réduire l'énergie utilisée pour les systèmes de distribution et les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation	13
Éclairage	19
Études de cas	31
Quelques trucs faciles	43
Conversion au système métrique	45

E1-77-9
© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1980
N° de cat. M91-2/2-1980F
ISBN 0-662-90874-0

Publié en vertu de l'autorisation du
Ministre de l'Énergie, des Mines, et des Ressources

ÉCONOMIE DE CHAUFFAGE, DE CLIMATISATION ET D'ÉCLAIRAGE 2

Économie de chauffage, de climatisation et d'éclairage

Introduction:

L'industrie canadienne peut réaliser d'importantes économies d'énergie dans le chauffage, la climatisation et l'éclairage des bâtiments industriels.

Le but de cette brochure est de sensibiliser les directions d'usines aux solutions existantes et de les aider à les mettre en pratique.

Bien que ce fascicule soit relativement complète, on conseille toutefois de consulter les autres fascicules pour obtenir de plus amples renseignements au sujet du chauffage de bâtiments au moyen de chaleur perdue. Il est recommandé de se référer à l'index général qui est présenté dans la fascicule nº 1.

Chauffage, ventilation et climatisation de l'air

Les immeubles autrefois de simples abris n'offrant qu'une sécurité et qu'une protection rudimentaire contre un milieu parfois hostile, sont devenus, en l'espace de quelques siècles, des systèmes très complexes destinés à satisfaire un grand nombre de besoins physiologiques et psychologiques. Cette évolution a assuré à leurs occupants un plus grand confort, ainsi qu'un milieu de travail plus productif. Ces améliorations ont toutefois nécessité des coûts importants. Plus du tiers de l'énergie canadienne est consommée dans des immeubles commerciaux et résidentiels et, malheureusement, en grande partie inutilement. Des études récentes ont montré que grâce à une conception, à une exploitation et à un entretien rationnel, les bâtiments industriels peuvent constituer des milieux sûrs, confortables et sains à des niveaux de consommation d'énergie bien inférieurs au niveau actuel.

La première étape de la mise en oeuvre d'un programme de gestion de l'énergie dans les bâtiments, consiste à identifier les caractéristiques actuells de l'exploitation du bâtiment, ainsi que son utilisation de l'énergie. La deuxième étape consiste à évaluer la quantité d'énergie réellement nécessaire pour maintenir un niveau de confort dans le bâtiment. Pour ce faire, il faut d'abord calculer les charges thermiques et frigorifiques du bâtiment et déterminer ensuite l'énergie requise par le système de chauffage, de ventilation et de climatisation de l'air pour répondre à ces charges pendant les périodes d'occupation. Habituellement, le niveau réel de consommation est beaucoup plus élevé que celui effectivement exige pour répondre aux fonctions premières du bâtiment. Enfin, la dernière étape consiste à ramener la consommation réelle au niveau requis.

L'évaluation de l'énergie nécessaire à l'utilisation d'un bâtiment est quelque peu plus compliquée que l'évaluation de la consommation réelle d'énergie. Toutefois, les données recueillies pour établir les courbes des bâtiments et des systèmes et pour déterminer la consommation d'énergie (voir le fascicule no 1 de cette série) servent de base à ces calculs. Dans chaque cas, une méthode manuelle ou automatisée peut être utilisée. Même si le recours à l'ordinateur fournit des renseignements plus exacts et permet de considérer un plus grand nombre de possibilités en matière de conservation, il n'est nullement essentiel.

Les charges thermiques et frigorifiques d'un bâtiment dépendent des facteurs suivants:

- la transmission de chaleur par les parois du bâtiment;
- la présence d'un système de ventilation et (ou) d'infiltration d'air;
- la chaleur dégagée par les lumières, les appareils et les gens à l'intérieur du bâtiment.

La dimension, les fonctions et le nombre d'heures d'utilisation d'un bâtiment exercent une influence considérable sur l'importance relative de ces trois composantes énergétiques. Ls charges dans les établissements de vente et les bâtiments commerciaux en hauteur dépendent principalement des charges internes et des exigences en matière de ventilation. D'autre part, les charges dans les usines et les immeubles à bureaux de faible hauteur situés dans les banlieues dépendent surtout des facteurs externes qui influent sur les augmentations et les diminutions de chaleur à travers les parois du bâtiment et par infiltration.

Bien que les directives générales ayant trait à la consommation annuelle d'énergie par pied carré, ou les budgets consacrés à l'énergie, puissent servir d'objectifs, il faut reconnaître que les bâtiments sont tous différents les uns des autres et que leurs caractéristiques physiques et opérationnelles nécessitent diverses exigences en matière d'énergie.

Un saine gestion de l'énergie exige l'étude detaillée de chaque bâtiment, c'est-à-dire:

1. la cueillette de données climatiques pertinentes;
2. la description des caractéristiques thermiques du bâtiment;
3. l'évaluation des charges internes et externes;
4. l'établissement des heures d'utilisation du bâtiment et des systèmes;
5. l'établissement du rapport entre les besoins énergétiques du bâtiment et les charges thermiques d'une part, et les heures d'utilisation d'autre part.

Souvent la cueillette de ces renseignements met en évidence les secteurs où non seulement la consommation de l'énergie n'a pas été optimale mais où également les fonctions du bâtiment sont différentes de celles prévues à l'origine. On peut citer comme exemples les contrôles de système déréglés ou tout à fait inutilisables; les appareils, tels les tours de refroidissement, les serpentins, les filtres et les registres, qui n'ont pas été entretenus; les systèmes de distribution d'air qui ne sont pas équilibrés. Chacune de ces anomalies peut entraîner une plus grande consommation d'énergie par le système de chauffage, de ventilation et d'air climatisé lorsque le système ne fonctionne pas comme prévu. Il en résulte finalement une plus grande consommation d'énergie.

Réduction des pertes et des gains de chaleur — principe de base

La réduction des pertes de chaleur constitue peut-être le meilleur point de départ à cette analyse. Après tout, il importe peu si le bâtiment est chauffé par une température de -6° Celsius en janvier ou refroidi par une chaleur étouffante de 32° Celsius au mois d'août; le principe fondamental d'un système efficace est de minimiser la quantité d'air chaud sortant de l'immeuble ou la quantité d'air froid y pénétrant. Et il existe bon nombre de façons d'y parvenir.

La première mesure à prendre ne devrait nullement surprendre le propriétaire qui se soucie de la conservation de l'énergie dans sa maison depuis déjà quelques années. Il s'agit d'abord de boucher toutes les fentes autour des portes et des fenêtres et, par exemple, entre les joints des panneaux en béton. Il existe un grand nombre de produits qui peuvent servir à cette fin, mais la plupart a par tiennent à divers types de calfeutrages utilisés depuis des années dans les maisons pour empêcher l'air froid d'yentrer.

Dans le même ordre d'idées, la plupart des propriétaires de maison n'ont pas à se soucier d'avoir à remplacer les vitres brisées ou à calfeutrer leurs fenêtres durant les saisons froides. Aucun propriétaire conscient de son confort (ou de sa facture de chauffage) ne permettrait que de pareilles choses se produisent en hiver. Dans les usines, par contre, c'est un problème qui se pose souvent et qui doit être résolu sans tarder.

Un grand nombre d'usines ont remédié au problème des vitres cassées ou des courants d'air autour des fenêtres d'une façon bien directe; elles ont éliminé les fenêtres. En effet, lorsque celles-ci ne sont pas nécessaires, leur suppression est souvent un moyen très efficace de minimiser les pertes de chaleur.

Ceci est particulièrement vrai pour les anciennes usines munies de lanterneaux. Non seulement ceux-ci représentent-ils une source importante de perte de chaleur, mais ils entraînent également des coûts d'entretien très élevés et doivent être éliminés.

Il va de soi que tout nouveau bâtiment industriel lors de la construction l'utilisation du verre devrait être évitée partout où c'est possible et que dans toute installation nouvelle ou modernisée, le double vitrage devrait être obligatoire. En fait, il arrive que les fenêtres à double vitre, adéquatement orientées et inclinées, représentent un gain de chaleur par temps froid.

Dans le cas de bâtiments plus anciens qui ne peuvent être munis de double vitrage, l'installation de contre-châssis à l'intérieur ou à l'extérieur peut être une solution.

Le problème des fenêtres ouvertes en hiver s'applique généralement aux usines qui produisent une grande quantité de chaleur en raison de leurs opérations. Et là encore, il existe un grand nombre de possibilités: fermer le plus de sources de chaleur possibles ou isoler les réservoirs de traitement ou la tuyauterie (comme mentionné dans le fascicule intitulée *"Comment économiser grâce au calcul fonamental d'une installation")*.

Les portes ouvertes des plates-formes de chargement constituent une autre importante source d'infiltration de l'air extérieur. Afin d'isoler cette zone on peut, entre autrs, instal er une cloison munie ou non d'un système de chauffage à l'infrarouge, poser des rideaux de toile ou de plastique autour des plates-formes de chargement et utiliser des tampons ou d'autres dispositifs permettant d'assurer une meilleure étanchéité entre la remorque du camion et la porte de chargement. Toutes ces solutions sont étudiées plus en détail dans l'une des brochures de cette série portant sur les transports.

Les portes de plate-forme de chargement ne sont cependant pas les seules à poser des problèmes. C'est le cas de toutes les portes. Aussi, la construction de vestibules suffisamment longs pour empêcher quelqu'un de tenir les portes intérieures et extérieures ouvertes en même temps constitue un moyen généralement très efficace pour minimiser l'infiltration d'air.

Gain de chaleur solaire — un facteur important

Durant la saison chaude, les gains de chaleur solaire ajoutent d'importantes charges supplémentaires aux systèmes d'air climatisé si des mesures ne sont pas prises pour les contrôler. De la même façon, les conditions de travail, déjà inconfortables dans les usines non climatisées, peuvent le devenir encore davantage.

Aussi étrange que cela puisse paraître, c'est le toit, et non les fenêtres de la plupart des immeubles, qui constitue la plus importante source de gain de chaleur. Par conséquent, un grand nombre de commentaires relatifs à l'isolation du toit (mentionnés plus loin), plus particulièrement à l'augmentation du réfléchissement de l'habituel toit noir en pente, peuvent être appliqués.

En ce qui a trait à l'utilisation de l'eau comme isolant du toit, des précautions doivent être prises afin d'éviter les nombreux problèmes qui peuvent résulter de l'accumulation d'eau. Cependant, il existe des systèmes de refroidissement du toit par évaporation

qui empêchent l'eau de s'accumuler tout en fournissant la meilleure isolation possible contre la pénétration de la chaleur solaire.

Selon un manufacturier, le refroidissement du toit par évaporation, effectué à l'aide d'un pulvérisateur, réduit de 10 à 0.9 BTU le gain de chaleur pénétrant à travers un toit donné. Par comparaison, une mare d'eau de six pouces de profondeur réduit la même pénétration de chaleur de 10 à 1.4 BTU. Par des journées chaudes et ensoleillées (et de faible humidité surtout), on estime que ce système peut diminuer les températures intérieures d'au moins -10° C, sans l'utilisation d'un système d'air climatisé à l'intérieur. En outre, il prolonge la durabilité du toit grâce à la réduction de l'évaporation d'huiles volatiles et des contraintes de dilatation causées par la chaleur.

Les fenêtres constituent également une source importante de gain de chaleur solaire. Ici encore, il existe un grand nombre de solutions possibles. La plus élémentaire d'entre elles consiste à régler les persiennes, rideaux, volets et autres dispositifs antisolaires existants de manière à empêcher les radiations solaires de pénétrer dans le bâtiment. Toutefois, une solution de compromis s'impose si les dispositifs antisolaires entrent en conflit avec les exigences ayant trait à l'utilisation de la lumière naturelle comme source d'éclairage. (Une analyse de la consommation d'énergie relative attribuable aux charges de radiation solaire par rapport aux charges d'éclairage artificiel peut être nécessaire.)

Dans le cas où il n'y a ni persiennes, ni rideaux, leur installation dans les fenêtres situées au sud, à l'est et à l'ouest peut se révéler économiquement justifiable puisque celles-ci sont exposées à de vastes étendues de ciel ou aux rayons directs du soleil par temps chaud.

Des rideaux légers possédant des propriétés réfléchissantes sont efficaces, tout comme le sont les persiennes verticales ou horizontales dotées des mêmes propriétés (souvent faites de PVC). Les persiennes verticales sont généralement plus efficaces du côté est et ouest d'un bâtiment, tandis que les persiennes horizontales le sont du côté sud. Dans le cas de rideaux, il faut d'abord vérifier le code des incendies avant de choisir le tissu.

Des revêtements de pellicule réfléchissante ou du verre teinté peuvent également représenter un bon investissement pour toutes les fenêtres, sauf pour celles situées au nord. Des pellicules réfléchissantes de divers degrés de réflectance et d'épaisseur sont disponibles chez bon nombre de manufacturiers à des prix relativement bas. Non seulement aident-elles à contrôler les radiations solaires, mais elles peuvent aussi accroître la résistance et l'imperméabilité des vitres. Selon la couleur, la quantité et la fabrication, elles permettent une transmission de chaleur maximale variant de 55 à 90 BTU/h/0.093 m². Par comparaison, la chaleur maximale pouvant être transmise par un simple carreau de fenêtre clair est de 260 BTU/h/0.093 m².

Ces pellicules transmettent de 9 à 33 p. 100 du spectre de lumière visible et réfléchissent de 5 à 75 p. 100 des rayons solaires qui les frappent. Par exemple, comme les pellicules réfléchissantes des fenêtres situées des côtés sud, est et ouest d'un bâtiment réduisent les rayons solaires de 50 p. cent, elles pourraient épargner entre 30,000 à 50,000 BTU/h/0.093 m² (par fenêtre) chaque saison et diminuer ainsi l'énergie requise pour refroidir les locaux par temps chaud. Par conséquent, la charge frigorifique peut être réduite annuellement d'environ 3 tonnes-heures par 0.093 m² de verre grâce à l'utilisation appropriée de dispositifs antisolaires (voir l'exemple dans la section des études de cas).

Lorsque le verre doit être remplacé, la possibilité de lui substituer du verre teinté et réfléchissant mérite d'être prise en considération. Disponible en carreaux simples ou doubles, le verre teinté peut diminuer la transmission des rayons solaires incidents de moitié (de 90 à 45 p. 100). Il n'est cependant pas aussi efficace que les pellicules réfléchissantes qui peuvent apparemment la ramener à 20 p. 100.

Il faut également se rappeler que les lanterneaux d'un toit transmettent entre deux et quatre fois plus de chaleur solaire durant l'été que des fenêtres de même surface orientées vers l'est ou l'ouest. Lorsqu'un remplacement total ne peut être justifié, des moyens de contrôle extérieurs, tels la peinture blanche, peuvent être utilisés. Comme autre possibilité, les persiennes intérieures recouvertes d'une pellicule réfléchissante peuvent réduire jusqu'à 80 p. 100 les gains de chaleur solaire pendant l'été.

Le dernier mot sur le chapitre des gains de chaleur solaire concerne l'emplacement des serpentins des appareils de climatisation. Si ces derniers sont directement exposés aux rayons du soleil, la chaleur solaire diminue leur efficacité. Afin d'empêcher, si possible, une telle éventualité, ils devraient être placés du côté nord du bâtiment ou, s'ils sont au niveau du sol, être protégés par des arbrisseaux ou un pare-soleil quelconque. Les appareils conçus pour le toit devraient également être protégés par des pare-soleils, si possible.

Réduction des gains de chaleur internes en été

L'infiltration et les gains de chaleur solaire ne sont évidemment pas les seules charges supplémentaires imposées au système d'air climatisé. "Les gains de chaleur internes" ou, en somme, les sources de chaleur produites à l'intérieur de l'usine et pouvant être contrôlées, constituent un autre facteur important qui doit être pris en considération. Les sources manifestes de cette chaleur interne sont les niveaux d'éclairage excessifs, les appareils d'éclairage inefficaces qui produisent "plus de chaleur que de lumière", les divers moteurs, appareils de combustion, réservoirs de traitement et, de fait, toute autre source de chaleur qui peut être diminuée ou éliminée dans l'usine.

Parmi les solutions fondamentales pouvant remédier au surcroît de charges du système de climatisation, mentionnons:

- l'installation d'écrans thermiques autour des fours et des autres appareils produisant de la chaleur;
- l'isolation des tuyaux d'eau chaude et de vapeur ainsi que des conduits d'air chaud;
- la réduction des périodes d'utilisation et de marche à vide des moteurs et des appareils de combustion;
- l'isolation des réservoirs et des appareils de traitement;
- l'isolation et évacuation de la chaleur produite par les fours toutes les fois que l'enthalpie de l'air extérieur de remplacement est inférieure à l'enthalpie de la pièce;
- le réglage des systèmes de réchauffage à l'aide de boîtes de mélange d'air chaud et d'air froid ou de réchauffeurs de conduits électriques;
- l'extinction des lumières inutiles et remplacement des sources d'éclairage inefficaces.

Il va sans dire que la question des charges internes est une "arme à deux tranchants". Le chauffage et le climatisation de l'air sont deux secteurs qui ne peuvent être dissociés. Par exemple, la chaleur traitée qui est évacuée durant l'été devrait être utilisée d'une manière quelconque comme source d'énergie durant l'hiver. Si le procédé nécessite un volume important d'air évacué, la possibilité de purifier cet air pour le faire pénétrer à nouveau dans le bâtiment doit être considérée. En cas d'impossibilité, on peut alors songer à un échangeur de chaleur (voir la brochure intitulée *"Calcul fondamental d'une installation"*) permettant de transformer la chaleur en air de remplacement pour l'immeuble.

Une source de chaleur gaspillée et non souvent utilisée est celle générée par les grandes installations d'ordinateurs. L'hiver, les compresseurs à refroidissement par air procurent une source semblable de chaleur "gratuite".

Utilisation plus rationnelle des installations

Un autre moyen de contrôler les charges internes d'un bâtiment consiste à examiner les façons dont l'installation est utilisée. En effet, il se peut que dans beaucoup de secteurs, le nombre d'employés permette la diminution des niveaux d'éclairage, de chauffage et de climatisation.

Un exemple qui mérite d'être cité est celui d'un entrepôt tout entier où la température était maintenue à 21° Celsius l'hiver parce que deux employés travaillaient dans cette zone. Une étude a démontré qu'un grand pourcentage de leur temps était consacré au travail administratif et, par conséquent, on leur a construit un petit bureau à cette fin. La température a donc été réduite à 13° Celsius et les économies ainsi réalisées ont été considérables.

Parmi les autres moyens, la modification du bâtiment peut souvent donner de bons résultats. Dans ce cas, il peut s'agir de changer le niveau du plafond afin d'améliorer l'éclairage et de réduire le volume d'air conditionné requis.

Dans certains secteurs, le personnel peut être reproupé afin de réduire l'espace à climatiser. Il existe beaucoup de possibilités, mais chacune dépend directement des conditions de l'usine locale et peut être proposée suite à une évaluation globale de la consommation d'énergie.

Réduction de l'air évacué

En présumant que les sources manifestes de gain et de perte de chaleur ont été éliminées, l'étape suivante consiste évidemment à s'assurer que la quantité d'air évacué est réduite au minimum. Bien sûr, l'air doit être suffisamment renouvelé pour que sa qualité n'en souffre pas, mais il arrive souvent que la quantité d'air évacué est plus grande que nécessaire surtout en hiver. Ceci entraîne une surconsommation d'énergie et n'améliore d'aucune façon la qualité de l'air dans l'usine.

En fait, la ventilation excessive est l'une des plus grandes causes de gaspillage d'énergie. Beaucoup de codes exigent jusqu'à 0.28 m^3/mn par personne d'air extérieur, air qui doit souvent être chauffé ou refroidi, humidifié ou desséché, ou encore nettoyé, désodorisé et déplacé.

Dans les sous-marins, par exemple, aussi peu que 0.028 m^3/mn par personne est considéré comme acceptable. Et dans beaucoup de milieux industriels, il est fort possible que 0.14 m^3/mn par personne soient suffisants, ce qui signifierait une diminution de 50 p. 100. Dans une usine américaine, la seule diminution de 10 p. 100 a permis une économie annuelle de 1 740 000 BTU avec un système d'une capacité de 28 m^3/mn. Les autorités locales devraient être consultées en premier lieu, mais dans nombre de cas une autorisation conditionnelle est accordée suivant le principe qu'il est toujours possible de rétablir le volume d'air original au cas où la réduction de l'air admis ne donne pas les résultats escomptés.

Une possibilité qui mérite d'être prise en considération est l'utilisation de filtres à charbon activé pour l'air industriel. Ces dispositifs peuvent réduire l'entrée d'air extérieur ét, par conséquent, les coûts de chauffage et de refroidissement.

La ventilation excessive crée une "pression négative" à l'intérieur de l'immeuble, malaise dont le premier symptôme est la difficulté d'ouvrir les portes extérieures de l'usine. Outre l'inconfort causé par trop de courants d'air, la faible humidité relative et les niveaux inconstants de chauffage dans l'usine, la pression négative signifie simplement qu'une quantité excessive d'air froid pénètre à l'intérieur pour être chauffée. Quoi qu'il en soit, un volume suffisant d'air de remplacement doit venir de l'extérieur, alors pourquoi ne pas le contrôler?

Isolation — le moyen de réduire la conductibilité de la chaleur ou du froid

L'utilisation de matériaux isolants pour les murs et le toit constitue le principal moyen d'assurer que la chaleur ou le froid demeure le plus longtemps possible à l'intérieur. Bien que les concepts et la technologie nécessaires dans ce cas ne soient pas compliqués, l'éventail de produits disponibles comme isolants peut porter à confusion, tout comme les nombreuses possibilités d'économie proclamées par certains distributeurs et entrepreneurs.

En général, cependant, le concept de l'isolation est bien simple. À la base, il existe six principaux types d'isolation, chacun ayant ses propres avantages et inconvénients. Cependant, la méthode établie pour mesurer leur efficacité comme obstacle aux pertes de chaleur permet d'effectuer une simple analyse économique afin de déterminer les résultats susceptibles d'être obtenus avant d'entreprendre la pose du matériau isolant.

Cette mesure, bien sûr, est le facteur R. Au point de vue mathématique, il s'agit de la réciproque de "C", c'est-à-dire la quantité de chaleur transmise en une heure à travers un pied carré de matériau homogène d'une épaisseur donnée lorsque la différence de température entre les deux surfaces du matériau est de -17° Celsius.

Utilisé conjointement avec les données relatives à la dimension du bâtiment à isoler, les coûts de la main-d'oeuvre, des matériaux et de l'énergie, ainsi que le nombre représentant la rigueur du climat, le facteur R permet d'effectuer des calculs rudimentaires afin de déterminer les coûts réels entraînes par l'installation d'isolants.

Avant de calculer les économies d'énergie possibles grâce à l'isolation d'un toit donné, il est préférable de faire deux mises au point. Premièrement, le facteur R total est la somme de tous les facteurs R des différents matériaux utilisés sur un mur ou un plafond donné, et le symbole "U", réciproque du "R" total, est généralement utilisé dans les calculs comme unité de mesure des pertes de chaleur par heure. Deuxièment, même si le concept de degrés-jours est traité en détail dans le "Guide" et "l'Index", de même qu'une table des valeurs en vigueur dans certaines communautés canadiennes, un mot d'explication s'impose.

Par définition, la méthode degrés-jours est un moyen simplifié de déterminer la température extérieure au cours de la saison froide aux fins des calculs de transfert thermique et en fonction d'une température moyenne de 18° Celsius. En d'autres termes, si un jour donné la température moyenne est inférieure à la différence entre les deux ceci équivaut au nombre

Comparaison de matériaux isolants

	Matériau	Endroit	Méthode de fixation	R (à 75°)		Coût $/m²	Avantages	Inconvénients
1.	Uréthane de 2.54 cm E. max. = 10.16 cm	Murs	Adhésif	6	Isolant Substance ignifugel	.65 1.70 $2.35	Très efficace Léger	Très inflammable — Doit être protégé contre le feu. Perd ses propriétés isolantes avec l'âge Se dilate à l'humidité
2.	Panneau de polystyrène E. max. = 7.62 cm	Murs	Adhésif	5	Isolant Substance ignifugel	.55 1.70 $2.25	Efficace Léger Résistance à l'humidité	Inflammable — Doit être protégé contre le feu.
3.	Isocyante de 2.54 cm E. max. = 3.56 cm	Murs	Soufflé	6		.90	Très eficace S'adapte aux surfaces irrégulières	Hauter maximale de 9.14 cm Nécessite les gicleurs du bâtiment
4.	Cellulose de 3.17 cm E. max = 3.56 cm	Murs Plafonds	Soufflé	5.6		.70	Ignifuge S'adapte aux surfaces irrégulières Très insonore	Friable Mauvaise apparence Ne peut être posé à des températures inférieures à 1.6° C. Peut s'affaisser une fois le plafond posé.
5.	Feuille de 8.89 cm Rouleau de fibre de verre garni de papier kraft renforcé d'un côté Une seule E = 8.89 cm	Murs Plafonds	Agrafes adhésives Chevilles soudées	11		60	Ignifuge Facile à réparer Facile à couper pour poser autour des obstacles	Mauvaise apparence.
6.	Feuille de 2.54 cm Panneau de fibre de verre garni de papier kraft renforcé d'un côté — 3 kg par m³ (0.028 m³) E. max. = 5.08 cm	Murs Planchers	Adhésif Agrafes adhésives Chevilles soudées	4.5		.70	Ignifuge Facile à réparer Belle apparence	Doit être posé avec précautions autour des obstacles

de degrés-jours. Par exemple, si le 25 janvier le maximum est de 4°C et le minimum est de -13°C le nombre de degrés-jours équivaut à:

$$65 - \frac{(24 + 8)}{2} = 49 \text{ degrés-jours.}$$

Si l'on applique ces concepts pour calculer la perte de chaleur effective causée par un toit lamellaire de pontage métallique non isolé au cours d'une saison froide de 8000 degrés-jours (°F) on obtient les résultats suivants:

Résistance au débit de chaleur vers le haut (durant la saison froide)

1.)	film extérieur (vent de 24 km à l'heure)	R = 0.17
2.)	film intérieur	R = 0.68
3.)	toit lamellaire	R = 0.33
4.)	aucune isolation	R = 0.00
5.)	pontage métallique	R = 0.61
	Total	R = 1.79

U = 1/R = 1/1.79 = 0.56BTU/(pi²) (h) (°C)

HL = (0.56BTU/pi² — h — °C) (24 h/jour) (409 °C — jours)

= 107 520 BTU/pi² par saison de chauffage

En supposant que le toit de l'usine mesure 4,650 m² et que le coût du gaz naturel servant de combustible est de $2 par million de pieds cubes, le coût de cette perte de chaleur est de:

$$\frac{107\,520 \text{ BTU/pi}^2 \times 50\,000 \text{ pi}^2 \times \$2/\text{Mpi}^3}{1\,000\,000 \text{ BTU/Mpi}^3}$$

= $10 752 par saison de chauffage.

Il est possible de pousser plus loin ce calcul et de déterminer les pertes de chaleur et la consommation de combustible comparables en supposant un niveau donné d'isolation. Cette comparaison fournit souvent de bonnes raisons économiques en faveur de l'isolation accrue des installations existantes.

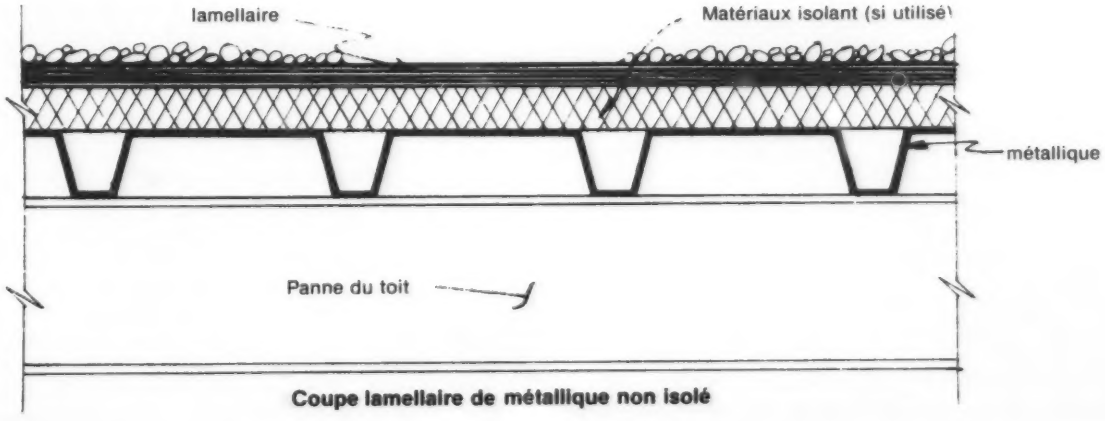
Même si une compagnie a conclu, à un moment donné au cours des dernières années, que l'isolation ne pouvait être justifiée en raison des coûts impliqués, l'augmentation du prix de l'énergie peut très bien avoir provoqué un changement d'opinion en faveur de l'isolation. Comme tout porte à croire que l'escalade des prix de l'énergie va se poursuivre, toute analyse économique qui tente de justifier ou de réfuter l'opportunité des investissements en matière d'énergie devrait tenir compte des conséquences de l'inflation sur le coût de l'énergie, car non seulement ce phenomène peut-il jouer un rôle quant à la justification de l'isolation, mais il peut également influer sur le choix de l'épaisseur ou du type requis de matériau isolant.

De plus, il est important de faire fi des perpétuels arguments contre l'isolation. L'un des plus fréquents est celui où l'un des murs d'une usine est considéré comme temporaire en prévision d'une expansion future et ne peut ainsi être isolé. L'expérience a démontré que l'agrandissement ne s'effectue jamais en temps prévu et, par conséquent, les compagnies accusent d'année en année des pertes d'énergie jusqu'au moment de leur expansion. Dans la plupart des cas, les compagnies prennent de l'expansion en ouvrant une nouvelle succursale ailleurs et l'isolation ne s'effectue tout simplement pas.

Si les plans prévoient une expansion dans cinq ans et que les coûts d'isolation prendront un an et demi à s'amortir, il s'agit toujours d'un bon investissement en termes de conservation de l'énergie, même si la construction s'effectue comme prévu.

À titre de suggestion, tenez-vous au courant de ce qui se passe dans le domaine de l'isolation. Par exemple, les techniques de toiture à mousse d'uréthane (voir l'exemple) sont de plus en plus utilisées à la fois comme moyen de réfection et d'isolation du toit, et à un prix relativement bas. La lutte pour la conservation de l'énergie est continuelle. Tâchez de bien vous prémunir avec le matériau le plus récent.

(Il vaut la peine de souligner que l'isolant choisi doit respecter toutes les normes établies concernant la prévention des incendies.)



Coupe lamellaire de métallique non isolé

Modification et entretien

Une fois l'usine bien isolée et relativement débarrassée de toute perte de chaleur inutile, la prochaine étape logique consiste à entretenir et à modifier les systèmes de chauffage et d'air climatisé existants. Encore un fois, cette mesure a pour but d'accroître l'efficacité du système et de diminuer la consommation d'énergie.

Selon un spécialiste, cette étape comprend les quatre points suivants:

1. vérifier les éléments du système;
2. nettoyer les filtres, serpentins, pales du ventilateur et carters;
3. calibrer les dispositifs de contrôle;
4. contrôler la consommation d'énergie afin d'assurer un certain confort en utilisant un minimum d'énergie.

Toutes ces solutions, une partie d'entre elles, ou parfois aucune, ne peuvent être réalisées sans aide extérieure, compte tenu des aptitudes du personnel préposé à l'entretien. Il existe des établissements de services complets ou partiels qui peuvent effectuer ce que vous n'êtes pas en mesure de faire.

Avant d'entreprendre quoi que ce soit, il est important de vérifier les systèmes. Examinez s'il n'y a pas d'éléments usés ou rouillés, ou encore de graves défectuosités, comme des interrupteurs sautés ou des soupapes de commande dérivées.

Vérifiez également si les registres du système de ventilation ont des fuites. Ce système peut chauffer ou refroidir une quantité surprenante d'air extérieur inutilement, quelquefois 15 ou 20 p. 100 plus d'air qu'il n'en faut en réalité et ce, jour et nuit.

Les ventilateurs, courroies, carters, filtres et conduits doivent également être vérifiés. Les systèmes de ventilation doivent être propres, bien réglés et doivent fonctionner en douceur. C'est pour cette raison que les filtres sont probablement la partie la plus importante d'un système de manutention d'air. Il ne fait aucun doute que des filtres colmatés et sales représentent une des plus importantes sources de gaspillage d'énergie dans un système de chauffage, de ventilation et d'air climatisé. Les évaluations relatives aux économies possibles grâce au nettoyage des filtres varient de 3 à 10 p. 100. Quelqu'en soit le nombre, l'entretien des filtres est un moyen économique de réduire la consommation inutile d'énergie. Le hors-texte décrit quelques-unes des facons selon lesquelles les filtres permettent d'économiser l'énergie. Des fuites dans les conduits peuvent entraîner une perte de 10 p. 100 d'air chaud ou froid parvenant effectivement à l'endroit climatisé. Les vérifications d'entretien devraient donc comprendre des programmes d'obturation des fuites.

Il est également bon d'examiner chaque année l'intérieur des pompes, des refroidisseurs et des compresseurs et de lubrifier les parties mobiles conformément aux instructions du manufacturier.

S'il s'agit d'un système pourvu d'instruments de mesure, comparez les pressions, les débits et les températures au devis descriptif. Des lectures anormales sont un signe manifeste que des mesures particulières doivent être prises. Si les instruments de mesure sont précis, toute défectuosité décelée vous indique que vous gaspillez déjà votre argent et risquez d'avoir des pannes majeures plus tard. Un mécanicien d'entretien compétent peut facilement vérifier l'exactitude des appareils de mesure.

Le nettoyage

La propreté des éléments du système exige plus qu'un simple entretien ménager, car il est parfaitement logique au point de vue économique que ces appareils sales ou rouillés doivent fonctionner davantage que des appareils exempts de saleté et bien entretenus.

La mise au point-annuelle est également le moment propice pour s'assurer que les diverses parties du système sont nettoyées, raclées, peintes et bien entretenues.

Les instruments et dispositifs de contrôle se présentent sous diverses formes et modèles et leur complexité est variée. La complexité des systèmes de contrôle destinés aux bâtiments varie grandement d'un bâtiment à l'autre. Ils ont tous cependant une chose en commun . . . le besoin absolu d'un calibrage régulier afin d'assurer un fonctionnement efficace.

Outre certaines intervention directes, le système de contrôle est suffisant pour assurer une consommation correcte d'énergie tout en maintenant le système en opération. Afin de diminuer la température des locaux ou de limiter la mise en marche du ventilateur à certaines heures, vous devez avoir au moins l'assurance que les contrôles font fonctionner le système comme il se doit.

Le calibrage doit également assurer que le réglage des contrôles est conforme soit au devis descriptif original, soit aux réglages jugés les plus économiques lors de la dernière mise au point.

Le calibrage de certains secteurs peut engendrer d'importantes économies. Par exemple, le contrôle de l'humidité n'est pas aussi important que l'on croyait autrefois. Si le dispositif de contrôle de l'humidité n'a pas été touché depuis quelques années, il produit probablement 50 p. 100 d'humidité relative. Cependant, 30 p. 100 est maintenant généralement reconnu comme le niveau maximum d'humidité correspondant à l'utilisation économique de l'énergie. La différence de 20 p. 100 peut se traduire par des économies considérables.

Pour obtenir facilement ce niveau d'efficacité dans un système dépourvu de contrôle du pourcentage d'humidité relative, il suffit d'abaisser le degré d'humidité jusqu'à ce que de l'électricité statique se forme au contact des poignées de porte, puis de l'augmenter juste assez pour éliminer ce phénomène.

Le serpentin-préchauffeur constitue un autre secteur où le calibrage est souvent négligé. Dans des

climats plus froids, le serpentin-préchauffeur de nombreux bâtiments est situé dans le conduit d'admission l'air extérieur, et risque ainsi de chauffer sans cesse plus d'air froid extérieur que nécessaire.

Dans un bâtiment de 9,300 m², par exemple, un écart de 5° C dans la température de préchauffage a entraîné un gaspillage de chaleur évalué à $4 000 au cours d'une seule saison de chauffage.

Il est bon de se rappeler lors du calibrage d'anciens systèmes qu'il faut probablement laisser une marge en établissant de nouvelles limites pour les contrôles, car la plupart des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation de l'air existants sont conçus pour les pires conditions. Grâce à une eau refroidie de 50° C, le système de refroidissement peut garder votre bâtiment frais par une chaleur de 6°C, l'usine peut très bien fonctionner avec une eau refroidie de température plus élevée au cours des 362 jours de l'année où la température extérieure est plus modérée.

Abaisser les températures

Il est évidemment essentiel de s'assurer que le système fonctionne adéquatement, mais la mesure peut-être la plus simple et la plus efficace à prendre à cette fin consiste à régler les températures à 20° C durant la saison chaude et à 26° C durant la saison froide, conformément à ce qui est recommandé. Outre le port de vêtements appropriés en fonction de la saison (ce qui peut équivaloir à jusqu'à 3° C de plus en hiver et à 20° C de moins en été), les précédentes températures sont raisonnables et confortables, et épargneront énormément d'énergie et d'argent. (Dans le cas de systèmes de réchauffe, la situation est quelque peu plus complexe.

Bien sûr, on ne peut abaisser la température sans en avertir les employés. Sans communications adéquates, on s'expose à des griefs et un certain nombre d'employés brancheront même leur propre chaufferette pour combler la différence. S'il y a des employés âgés ou souffrant d'arthrite, des mesures spéciales doivent être prises. Malgré les meilleures communications visant à une diminution de la consommation d'énergie ou à ses résultats, le réglage du thermostat devra probablement être élevé d'un degré environ.

Dans la plupart des cas, cependant, 20° C devrait suffire à assurer le confort d'employés convenablement habillés, à condition que tout courant d'air soit éliminé. Cette attitude se traduira par des économies.

Ainsi, dans une ville où, en hiver, la température est moyenne, on économisera en moyenne 10 p. 100 sur le coût du chauffage en réglant les thermostats à 20° C plutôt qu'à 22° C dans les secteurs de travail.

Par contre, en réglant le thermostat des systèmes de refroidissement à 26° C on réduira considérablement la consommation de combustible par rapport à ce qu'elle serait si le thermostat était réglé comme d'havitude à 22° C — à condition que le résultat ne se limite pas à un plus grand réchauffement.

Mais il ne faut pas s'arrêter là. La nuit et les fins de semaine, les températures devraient être abaissées encore plus. . .et les locaux inoccupés ou rarement utilisés devraient être maintenus à la température la plus basse possible.

Les économies réalisées par l'abaissement des températures pendant la nuit seront plus ou moins sensibles selon les différents types de constructions, les facteurs fondamentaux dans ce cas étant la qualité de l'isolation du bâtiment et sa masse. Il est également important de s'assurer qu'on peut élever à nouveau la température à l'intérieur du bâtiment sans qu'il en coûte trop cher.

Cependant, dans la plupart des cas, les économies sont importantes sur trois plans: réduction de la perte de chaleur, réduction de la quantité de travail exigée des ventilateurs par suite de leur utilisation cyclique et réduction de l'air extérieur utilisé pour la ventilation durant le cycle de nuit.

Pour ce qui est des économies qu'on peut réaliser avec les ventilateurs, elles peuvent être substantielles. Par exemple, si un système de chauffage est conçu pour maintenir un bâtiment inoccupé à une température de 24° C durant l'hiver, les ventilateurs ne tournent que lorsque l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur atteint ou dépasse la limite établie. À Vancouver, par exemple, si on règle le thermostat à 13° C pour la nuit, on peut réduire le temps de fonctionnement du ventilateur d'environ 18 p. 100. Dans les régions où le climat est rigoureux, tel qu'à Saskatoon, ces économies d'énergie peuvent atteindre 28 p. 100 environ. Dans les deux cas, les économies d'argent sont impressionnantes.

Lorsqu'on songe à l'économie d'énergie réalisée au chapitre de la ventilation, il ne faut pas oublier que les systèmes de déplacement d'air utilisés dans certains bâtiments pour maintenir la température pendant la nuit à un niveau déterminé, peuvent être inefficaces si le registre extérieur n'est pas étanche une fois fermé. Et les pertes peuvent être considérables. Imaginons une perte d'énergie de 10 p. 100, sur une période de 12 heures la nuit et pendant toute la fin de semaine, période au cours de laquelle les ventilateurs tournent à plein temps pour faire recirculer l'air afin de maintenir une température minimale de 15.5° C; pour chaque 28 m³ par minute, on gaspille alors plus de 14MBtu par année pour une ville telle que Saskatoon, et plus de 6.5 MBtu à Vancouver. En supposant qu'il en coûte $2 par MBtu et que le système est de 1,400 m³ par minute, le fonctionnement des ventilateurs fait perdre entre $650 et $1 400 par année.

La limitation du temps de fonctionnement des ventilateurs, obtenue par un simple changement du système, ferait baisser un peu les chiffres précités. En fait, presque partout au Canada, on peut économiser jusqu'à 80 p. 100 de l'énergie employée pour la ventilation au cours de la nuit et des fins de semaine.

En général, les économies réalisées en abaissant la température au cours de la nuit et des fins de semaine

Formule utilisée par Bell Canada pour contrôler les températures des bâtiments

"CONSERVATION DE L'ÉNERGIE"

BÂTIMENTS
"CHAUFFAGE"

CODE D'EMPLACEMENT DU BÂTIMENT:

ADRESSE:

VÉRIFICATEUR:

No DE TÉLÉPHONE:

DATE:

MARCHE:

HEURE:

ARRÊT:

SUPERFICIE MESURÉE:

SUPERFICIE:

GENRE DU BÂTIMENT:

TEMP. EXT :

PLANCHERS	HALLS & ESCALIERS 70°F (21°C)	VESTIAIRE & CANTINES 70°F (21°C)	ZONES DES BUREAUX & SALLES DES TÉLÉPHONISTES 72°F (22°C)	ENTREPÔT SOUS SURV. 70°F 21°C SANS SURV. 55°F 13°C	GARAGES 55°F (13°C)	DÉPÔTS INOCUPPÉS 40°F (4.5°C)	ÉVALUATION %		
EFF.									
POSS.									

"REFROIDISSEMENT"

MARCHE:

ARRÊT:

	78°F (25.5°C)	78°F (25.5°C)	78°F (25.5°C)	78°F (25.5°C)				
EFF.								
POSS.								

	EAU CHAUDE 110°F (43°C)	EAU CHAUDE 180°F (82°C)	FENÊTRES OUVERTES	PORTES OUVERTES	TOTAL		MOYENNE %
TEMPÉRATURES →					MOINS CONTRAVENTIONS		
CONTRAVENTIONS →							

RENDEMENT GLOBAL (%)

sont importantes. Toutefois, selon l'importance et la complexité du système, il peut être difficile d'en tirer pleinement profit lorsqu'on utilise un thermostat à réglage manuel. Les commandes automatiques sont souvent beaucoup plus efficaces pour réduire la part d'élément humain et pour assurer que le thermostat est réglé aux températures prescrites.

Un conseiller technique ou un fournisseur d'équipement de contrôle serait en mesure de vous renseigner sur ce sujet. Dans la présente brochure, on cite un cas type d'intérêt particulier pour les établissements dotés d'appareils de chauffage au gaz à feu direct et commandés par des thermostats locaux. On y démontre l'utilisation d'un système à thermostat jumelé commandé par une minuterie réglée pour sept jours, qui assure en même temps le contrôle de la température et des conduits de dérivation. Des dispositifs de commande semblables, simples et peu coûteux peuvent s'adapter aux systèmes de chauffage et de refroidissement de nombreux établissements industriels ou à bureaux. Dans la plupart des cas, ils permettront d'importantes économies d'énergie et d'argent.

L'utilisation connexe de commandes automatiques réduira aussi la consommation d'énergie. Dans les cas, par exemple, où une horloge est utilisée pour mettre en marche les pompes et les ventilateurs des chaudières pour la période de réchauffe du matin, il va de soi que s'il faut trois heures pour réchauffer le bâtiment quand la température à l'extérieur est de -23° C il ne faudra peut-être que 20 ou 30 minutes lorsque la température à l'extérieur est de 4.50° C. Des commandes de réchauffe peu coûteuses peuvent être posées; ces commandes mesurent la température de l'air à l'extérieur et utilisent le facteur "U" du mur extérieur comme constante pour déterminer le moment optimal de mise en marche du chauffage central à chaque jour. On calcule que des périodes minimales de réchauffe compte tenu des températures extérieures peuvent épargner 1/2c par pied carré du plancher pour chaque heure de la durée moyenne de réchauffe éliminée.

Une autre bonne façon d'épargner des dollars: dans les locaux, à l'usine ou à l'entrepôt, inoccupés ou rarement utilisés, abaisser la température autant que possible dans la mesure où les articles qui s'y trouvent ne seront pas endommagés.

À titre d'exemple, dans un établissement canadien, les travailleurs devaient, pour se rendre d'un bâtiment à un autre, traverser une vaste bâtisse inutilisée qui, antérieurement, était chauffée à la vapeur, durant les mois d'hiver. Les ingénieurs de la compagnie constatèrent la quantité d'énergie ainsi gaspillée pour chauffer ce qui était ni plus ni moins qu'un immense corridor. Ils décidèrent d'installer des appareils de chauffage à rayons infrarouges avec une minuterie au-dessus d'une passerelle qui reliait les immeubles. Les sommes épargnées en ne consommant plus de combustible pour produire de la vapeur ont payé en peu de temps l'installation de chauffage.

C'est le simple bon sens qui va probablement dicter la température appropriée aux diverses parties de l'établissement. Toutefois, à titre d'indication, le tableau montre les réglages de température utilisés par une compagnie à divers endroits. Évidemment, si un secteur n'a besoin d'être ni chauffé ni refroidi — fermez le système! Plus ce petit manège sera répété, plus les factures de chauffage seront réduites.

Un dernier point important à considérer pour réduire la consommation d'énergie est celui qui consiste à utiliser autant que possible l'air de l'extérieur pour le refroidissement. En fait, dans la plupart des établissements, on se sert d'eau glacée pour refroidir l'air à 17° C. Évidemment, si la température à l'extérieur est de 17° C ou moins, il est inutile de faire fonctionner les refroidesseurs, les pompes et les compresseurs. Il suffit simplement d'ouvrir les clapets et de laisser entrer librement l'air de l'extérieur ou de faire installer des dispositifs de contrôle pour que cette fonction se fasse automatiquement.

On pourra facilement ne pas faire démarrer les petits systèmes de réfrigération autonomes à chaque fois que l'air extérieur peut pourvoir au refroidissement. Cependant, avec les grandes installations centrales, dans la plupart des cas, il faudra prendre une une décision, sur une base quotidienne ou hebdomadaire.

On peut économiser l'énergie avec les systèmes de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air de centaines de façons, dont bon nombre sont exposées dans la section des études de cas et des bons tuyaux de la présente brochure. Bien souvent, il ne s'agit que de tourner un commutateur. Dans d'autres cas, ce sont des travaux d'entretien ou de légères modifications au système qui s'imposent.

Les ventilateurs de plafond — une façon économique de récupérer la chaleur

Par "récupération de la chaleur", on entend généralement l'utilisation d'échangeurs de chaleur pour récupérer la chaleur des gaz brûlés ou autres effluents chauffés. Cependant, il existe une façon sûre et peu coûteuse de récupérer la chaleur, c'est d'installer des ventilateurs au plafond pour réduire la stratification de la chaleur, ce qui est pratique courante dans de nombreux établissements industriels.

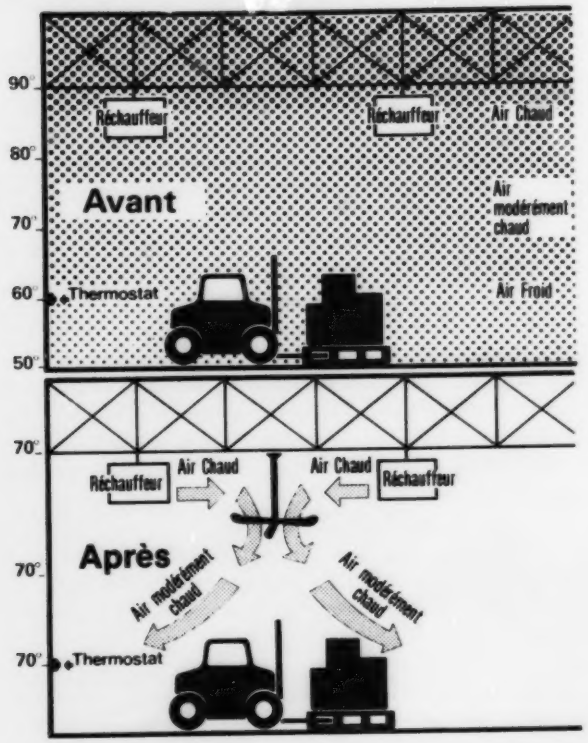
L'air chaud qui monte au plafond et qui y demeure sous forme de couche ou strate constitue une importante source de chaleur inutilisée qui ne contribue absolument pas au confort des employés. De ce fait, il faut élever la température, ce qui augmente la consommation d'énergie pour bien chauffer les niveaux inférieurs.

Des ventilateurs installés dans un bâtiment assez bien isolé vont pousser l'air chaud vers le plancher, où il sera beaucoup plus utile, et souvent feront passer la différence de température entre le plancher et le plafond de -4° C à -11° C, ce qui évitera d'avoir à régler le thermostat à tout instant. Assez souvent, les

directeurs d'usine constatent que l'installation de ventilateurs permet de régler le thermostat à au moins 5° F plus bas tout en assurant des températures plus chaudes au niveau du plancher.

Tel qu'on l'a déjà dit, pour chaque degré au-dessus de 19° C, auquel le thermostat est réglé, la consommation d'énergie augment en moyenne de 2½ p. 100. Par contre, en reculant le thermostat de 5 degrés, on peut souvent réduire de 15 p. 100 la facture de chauffage, et ainsi payer l'installation du ventilateur en peu de temps. Chaque cas individuel a ses propres variables; ainsi, un seul ventilateur, placé à une hauteur d'environ 20 pieds, redirigera la chaleur sur une superficie d'environ 2000 pi carrés. Les ventilateurs à vitesse variable consomment à peine 167 watts, assurent un déplacement d'air de 16800 pcm, et lorsqu'ils sont commandés par un thermostat, ne fonctionnent qu'au besoin.

Réduction des coûts de chauffage ou moyen de ventilateurs



Une des études de cas de la présente brochure traite de l'emploi d'un système avec minuterie, réglée pour sept jours, qui abaisse automatiquement les températures en dehors des heures de travail et limite le temps de fonctionnement des ventilateurs. Selon un fabricant, l'utilisation de minuteries et de ventilateurs assure des économies pouvant aller de 15 à 40 p. 100 dans les établissements industriels où la stratification de la chaleur est un problème.

Le même fabricant a établi, par ordinateur, une analyse sur la perte thermique, au moyen d'un questionnaire qui tient compte de facteurs, tels que:

- le nombre de degrés-jours;
- les dimensions du bâtiment, y compris la superficie des portes d'embarquement et autres ouvertures, ainsi que leur durée d'ouverture chaque jour;
- la valeur "R" des toits et des murs;
- le nombre et la puissance des ventilateurs aspirants et l'horaire de l'utilisation de l'établissement;
- la température moyenne au plafond et au plancher (et le réglage de nuit);
- les coûts unitaires et la consommation de combustible au cours des dernières saisons de chauffage;
- les pertes de chaleur.

Un autre facteur contribuant à l'amélioration du rendement énergétique vient de ce que les ventilateurs forment des "réservoirs de chaleur" dans le matériel et l'équipement et, surtout, dans un plancher en dalles de ciment, empêchant ainsi un refroidissement extrême au cours de la nuit.

Quelques autres avantages de l'utilisation des ventilateurs:

- le ventilateur muni d'un inverseur (certains modèles ont cette caractéristique) — assure un tirage vertical qui peut réduire la condensation sur la toiture-terrasse durant les mois d'été et aspirer vers le plafond les fumées et l'air chaud et, de cette façon, assainir le secteur de travail;
- le ventilateur, bien placé par rapport aux portes basculantes, peut contribuer à créer un "rideau continu de chaleur" qui empêche l'infiltration d'air froid au-delà de la zone de chargement;
- le ventilateur peut réduire l'humidité en été et accélérer les opérations de séchage et de traitement;
- le ventilateur, dans l'industrie alimentaire, peut tenir les insectes loin du produit et empêcher la stratification de s'attaquer aux aliments conservés aux niveaux supérieurs d'un entrepôt.

Penser à toutes les variantes de chauffage

Comme aux préoccupations quotidiennes de l'industrie s'ajoute maintenant la question de l'utilisation efficace de l'énergie, de plus en plus de nouveaux équipements seront mis au point pour s'adapter aux systèmes nouveaux ou déjà existants dans le but d'aider les directeurs d'établissement à atteindre les objectifs de conservation de l'énergie. Les appareils de chauffage à rayons infrarouges, par exemple, semblent offrir certains avantages à quelques établissements industriels (voir les études de cas). Les rayons infrarouges ne réchauffent que les objets vers lesquels ils sont dirigés (non l'air ambiant). Donc, le chauffage peut n'être dirigé que

vers les secteurs de l'établissement où se trouvent les travailleurs. Mais, ce qui semble plus important, c'est que la chaleur maximale sera atteinte en quelques minutes seulement. Ainsi, on peut fermer un secteur lorsque la chaleur n'est plus nécessaire, ou encore, fermer tout le système de chauffage durant la nuit dans les cas où une "chaleur de confort" est la seule exigence.

La récupération de la chaleur même à un prix plus élevé doit être envisagée

Parmi les changements qui peuvent être apportés aux systèmes de chauffage ou de climatisation d'air, tous ne sont pas simples ou bon marché. Ainsi en est-il des systèmes de récupération de chaleur qui utilisent la chaleur d'échappement (qui autrement serait perdue) provenant de sources diverses. Ces systèmes seront économiques ou non dans une situation donnée, selon un certain nombre de facteurs locaux dans l'organisation de l'entreprise. De toute façon, il est sûr que pour déterminer si oui ou non ils sont économiques, les compagnies doivent être prêtes à entreprendre une étude économique approfondie qui tiendra compte de tous les facteurs pertinents (voir à l'index l'étude sur la manière de calculer le produit des placements à l'égard de la conservation de l'énergie). Ls compagnies doivent aussi être prêtes à débourser quelques $10 000 ou même quelques $50 000.

Les études de cas de la présente brochure font connaître un certain nombre de systèmes possibles de récupération de la chaleur, et d'autres renseignements sur le sujet sont donnés dans la brochure "Comment économiser grâce au calcul fondamental d'une installation". Que la chaleur puisse être récupérée directement ou qu'un type d'échangeur de chaleur soit requis, ce sont les facteurs spécifiques de l'établissement qui le détermineront.

L'important est de trouver et d'examiner tous les moyens possibles de récupérer la chaleur. Très souvent, les échappements préchauffés de toutes sortes peuvent être utilisés pour récupérer la chaleur. Une vérification de la capacité énergétique, les études de cas de la présente brochure et autres sources de renseignements peuvent vous aider à découvrir les différentes possibilités. Si cela ne réussit pas, quelques heures de discussions avec un conseiller technique peuvent vous être profitables.

Le même genre de situation s'applique à l'utilisation des matériaux rebut qui peuvent être brûlés aux fins de produire de la chaleur pour le conditionnement de l'immeuble. (La brochure de la présente série "Économies par la régulation de la combustion" apporte certaines précisions à ce sujet). Encore une fois, cela ne s'applique pas à tous — en fait, dans le cas présent, le système convient davantage aux grosses industries qui produisent des quantités importantes de résidus pouvant être brûlés sans causer de pollution. Et ce n'est que si l'on peut éliminer une part vraiment importante d'impuretés que l'utilisation de l'équipement de prévention de la pollution est justifiée.

Puisque la présente brochure vise à aider les directeurs d'usine et autres personnes à améliorer la situation actuelle, on ne parle pas des systèmes de chauffage à treillis métallique par exemple qui, pour le moment du moins, s'appliquent surtout aux nouvelles constructions. Un cas type de ce genre de système de chauffage, adapté à un ancien système, est étudié dans la dernière section, mais c'est plutôt l'exception que la règle.

Il en est de même des "pompes à chaleur" qui ne sont pas étudiées en détail. Toutefois, ce secteur de la technologie évolue rapidement et les applications peuvent être variées. Tous ces nouveaux développements technologiques méritent d'être soulignés, mais seulent s'ils caractérisent un mode de pensée relativement à l'énergie et à son utilisation efficace qui doit devenir une règle de conduite. Examinez votre système de chauffage, de ventilation et de climatisation d'air. Comment fonctionne-t-il? Quelles modifications simples à l'entretien ou au contrôle peuvent être apportées en vue d'améliorer son rendement? Quels sont les changements possibles du système qui permettraient d'améliorer sa productivité? Les fournisseurs et les conseillers techniques peuvent être d'une grande utilité dans ce domaine. . . mais lemouvement doit venir de l'entreprise même. Les économies sont à votre portée, saisissez-les.

Autres renseignements

Pour obtenir plus de renseignements et de détails, les lecteurs sont priés de consulter l'index de la Brochure 1 de la présente série et la norme 100.4P *"Energy Conservation in Existing Industrial Buildings"* (Conservation de l'énergie dans les bâtiments industriels existants) de l'ASHRAE *(American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering).*

Conseils visant à réduire l'énergie utilisée pour les systémes de distribution et les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation

Systèmes de chauffage

—Nettoyer le côté exposé à l'air des radiateurs directs, des convecteurs et serpentins à ailettes, pour intensifier la transmission de la chaleur.

—Ne rien placer devant les radiateurs. Il est souhaitable d'assurer un dégagement d'un pied en avant des convecteurs, des radiateurs et des registres. Les systèmes de chauffage, en particulier les radiateurs à eau chaude ou avec plinthes chauffantes, ainsi que les registres d'arrivée d'air chaud à bas niveau fonctionnent mieux s'ils ne sont pas obstrués par des meubles. N'empêchez pas le passage de la chaleur ou de l'air en plaçant des livres ou autres objets sur le dessus des étagères ou rayonnages, à l'horizontale, qui dissimulent des radiateurs, des serpentins de ventilateurs ou tout autre élément chauffant par ventilation ou induction.

—Quand un radiateur est placé directement devant une fenêtre qui descend plus bas que le haut du radiateur, ou devant une paroi non isolée, insérer un panneau de fibre de verre d'un pouce d'épaisseur, enduit d'une couche de substance réfléchissante du côté de la pièce, directement entre le radiateur et la paroi extérieure, afin de réduire les pertes par rayonnement vers l'extérieur.

—Purger les radiateurs à eau chaude et les convecteurs pour s'assurer qu'ils sont bien remplis d'eau.

—Vérifier les purgeurs de vapeur des radiateurs pour s'assurer qu'il n'y circule que du condensat, et non de la vapeur.

—S'assurer que tous les ventilateurs, souvent inactifs dans les aérothermes, les serpentins et les ventilateurs, fonctionnent normalement afin d'accroître la transmission de la chaleur provenant des serpentins de chauffage.

—Utiliser des éléments électriques ou à rayons infrarouges pour réchauffer les zones isolées, par exemple, un bureau de réception dans un grand hall, plutôt que de faire fonctionner un système central pour une petite partie du bâtiment.

—Dans les endroits publics des bâtiments, tels que les halls, les corridors, les cages d'escaliers, les vestibules et les salles de repos, on peut réduire la consommation d'énergie de la façon suivante: là où la chaleur est assurée par un équipement terminal autonome, muni d'une soupape, fermer l'appareil et enlever les manettes des soupapes de contrôle. S'il est muni de robinets d'équilibrage, les tourner à la position "off". Dans les cages d'escaliers des immeubles à plusieurs étages, fermer tous les appareils sauf celui placé à l'étage inférieur. Fermer le chauffage dans les vestibules et dans les salles.

—Les aérothermes suspendus doivent diriger la chaleur vers le plancher. Ajouter des volets directionnels afin de concentrer la chaleur vers le plancher ou vers le secteur à réchauffer; si possible, assurer un tirage vertical du retour d'air.

Systèmes à un seul conduit

—Garder les filtres propres pour réduire la résistance à la circulation d'air, permettant ainsi de réduire le temps pendant lequel le souffleur et l'équipement principal qui produit la chaleur ou le froid doit fonctionner pour assurer une température satisfaisante de la pièce. Si possible, poser des filtres du type à faible résistance. Si l'espace le permet, disposer les filtres en "V". De cette façon, la surface filtrée sera plus grande et la résistance moindre et, par conséquent, les nettoyages seront moins fréquents qu'avec une disposition rectiligne.

—Enlever la poussière et les saletés sur les serpentins afin d'améliorer la transmission de la chaleur.

—Pour réduire la déperdition ou l'amplification de la chaleur, réparer, s'il y a lieu, le calfeutrage, ou poser un isolant sur les surfaces extérieures des gaines qui ne sont pas protégées à l'intérieur. Les appareils placés à l'extérieur, de niveau ou sur la toiture, ou dans des endroits non climatisés, doivent être isolés avec l'équivalent de 3 pouces de fibre de verre.

—Les rapports entre la température et la quantité du débit d'air, la température et la quantité de l'eau refroidie ou chaude, et les charges à satisfaire ne peuvent pas être simplifiées à l'extrême dans une analyse sur l'utilisation de l'énergie.

L'autre rapport entre les températures et l'écoulement du fluide et l'équipement principal de conversion d'énergie ne sera bien compris qu'à la suite d'une étude approfondie de fin de saison de tous les facteurs pris ensemble. Toutefois, on peut considérer les points suivants:

1. Le fait d'abaisser la température du débit d'air en hiver assure la conservation de l'énergie, diminue les charges "parasitiques", en réduisant les déperditions de chaleur dans les systèmes de conduits et de tuyauterie, et améliore l'efficacité du système. Cela permet aussi de réduire ou d'éliminer les brusques changements de température par suite du surchauffage. Toutefois, l'équipement peut fonctionner plus longtemps ou exiger un plus gros volume d'air et plus de puissance, ce qui annule certaines sinon toutes les économies d'énergie réalisées par les déperditions de chaleur réduites:
2. Le fait d'élever les températures du débit d'air en été assure la conservation de l'énergie en réduisant l'amplification de la chaleur dans les conduits et la tuyauterie, et en améliorant

l'efficacité des refroidisseurs ou des compresseurs, quand ils sont en opération. Le grand refroidissement excessif est ainsi réduit au minimum et les écarts de température éliminés. Mais, là encore, une plus grande quantité de débit d'air sera peut-être nécessaire d'où la nécessité d'augmenter la puissance des ventilateurs ou de faire fonctionner plus longtemps les ventilateurs, souffleurs, refroidisseurs, condensateurs ou tours de réfrigération. Cependant, de façon générale, le fonctionnement à une température plus élevée se révélera plus économique.

—Si des serpentins électriques sont utilisés, les faire fonctionner par étapes, plutôt que brusquement. On peut y arriver en adaptant au thermostat un dispositif de commande.

—Lorsque le contrôle de l'humidité n'est pas essentiel, on peut utiliser le serpentin refroidisseur à la fois pour le chauffage et pour le refroidissement, en changeant les raccords de la tuyauterie et en enlevant le serpentin de chauffage. Voici les avantages: 1) l'élimination du serpentin de chauffage réduit la résistance totale du système à la circulation d'air et permet de ralentir la vitesse du ventilateur pour obtenir le même débit volumique d'air; (2) lorsqu'ils sont utilisés pour le chauffage, les serpentins refroidisseurs qui, de par leur nature, ont une beaucoup plus grande surface pour la transmission de la chaleur que les serpentins de chauffage, permettent des températures d'eau beaucoup plus basses pour une production donnée de chaleur. En retour, la réduction de la température de l'eau minimise les déperditions de chaleur et, par conséquent, les chaudières donnent un rendement plus efficace.

—Assurer à l'eau chaude et à l'eau refroidie un débit constant, mais rajuster lorsque les conditions exigent une charge partielle d'une durée de plus de deux heures. Régler le thermostat pour obtenir la température désirée du débit d'air (qui peut varier dans les changements de petites charges) et réduire les gains et les déperditions de la chaleur des systèmes de tuyauterie.

—Éviter de chauffer et de refroidir simultanément, sauf lorsqu'on veut contrôler l'humidité à certains endroits.

—Ne pas faire fonctionner un vaste système pour contrôler l'humidité ou chauffer une petite zone.

Systèmes terminaux de réchauffe

—Fermer complètement le système durant la nuit, les fins de semaine et les autres périodes chômées.

—Élever la température du débit d'air pour permettre l'utilisation à des températures plus élevées de l'eau refroidie qui, en retour, augmentera l'efficacité du refroidisseur.

—Réduire la quantité du débit d'air.

—Mettre le système en marche, sans réchauffer, toutes les fois que le réchauffement a été utilisé pour contrôler l'humidité en vue d'assurer un certain confort.

—Mettre le système en marche, sans réchauffer, lorsque le contrôle de la zone peut être sacrifié.

—Laisser tomber les exigences de l'humidité et laisser l'humidité relative atteindre naturellement jusqu'à 65 p. 100. Les niveaux élevés d'humidité relative réduiront le besoin de températures basses pour le débit d'air, en laissant la température d'aspiration du réfrigérateur s'élever pour permettre une diminution de l'énergie nécessaire à la réfrigération.

—Régler la température du débit d'air d'après le nombre de serpentins de réchauffe en marche. Si 90 p. 100 des serpentins de réchauffe fonctionnent, la température du débit d'air est trop basse et doit être réglée plus haut jusqu'à ce que le nombre de serpentins de réchauffe en marche tombe à 10 p. 100 environ.

—Pour empêcher un chauffage et un refroidissement simultanés de se produire, poser des dispositifs de verrouillage entre les systèmes de contrôle du chauffage et du refroidissement.

Systèmes à conduits jumelés

—L'article *"Systèmes terminaux de réchauffe"* donne les recommandations générales pertinentes aux systèmes à conduits jumelés.

—Élever la température du conduit froid et abaisser celle du conduit chaud.

—Dans les cas où il n'y a pas de charge de refroidissement, fermer le conduit d'air froid ainsi que les systèmes de refroidissement, puis faire fonctionner le système comme s'il n'y avait qu'un seul conduit, en réglant la température du conduit d'air chaud selon les charges de chaleur seulement.

—Dans les cas où il n'y a pas de charge de chaleur, fermer le conduit d'air chaud ainsi que le système de chauffage et, en réglant la température du débit d'air selon les charges de refroidissement, faire fonctionner le système en n'utilisant que le conduit d'air froid comme s'il s'agissait d'un système à un seul conduit.

—Les systèmes à conduits jumelés sont ordinairement conçus de façon à ce que chacun des conduits puisse écouler 80 p. 100 du débit d'air total. En ne mettant en marche qu'un seul conduit, on réduira probablement la quantité totale d'air en circulation et on épargnera une quantité égale d'énergie. Il se peut que cette réduction ne modifie pas, d'une façon défavorable, les conditions des locaux, mais elle pourrait causer des problèmes de bruit pour lesquels il faudrait ajuster les registres et/ou les vitesses des ventilateurs et insonoriser les boîtes terminales.

—Réparer les registres non étanches des boîtes mélangeuses.

—Ne pas purger l'air des boîtes mélangeuses du système de refroidissement pour contrôler la déshydratation.

Appareils à zones multiples

—Régler les commandes pour réduire la température de la paroi chaude et augmenter celle de la paroi froide.

—Le cas échéant, installer sur les serpentins de chauffage une soupape de contrôle automatique pour réduire la température du conduit d'air chaud, selon la consommation. La soupape est conçue de telle façon que, lorsque tous les registres du conduit d'air chaud sont partiellement fermés, elle réduira progressivement la température du conduit d'air chaud tant que ne seront pas entièrement ouverts un ou plusieurs registres.

—Munir les serpentins refroidisseurs d'une soupape de contrôle automatique qui adaptera la température du conduit d'air froid à la consommation. Lorsque tous les registres du conduit froid seront partiellement fermés, la soupape élèvera la température du conduit d'air froid tant que ne seront pas entièrement ouverts un ou plusieurs registres de la zone.

—Réparer les soupapes et les registres non étanches.

—Fermer le ventilateur et les soupapes de commande durant les périodes d'inutilisation de la saison de refroidissement.

—Fermer la soupape de refroidissement durant les périodes d'inutilisation de la saison de chauffage.

Systèmes à induction

—L'article *"Systèmes terminaux de réchauffe"* donne des mesures générales qui s'appliquent aussi aux systèmes à induction.

—Régler la température de l'eau de chauffage et de refroidissement selon la charge. Si la charge de refroidissement de l'immeuble est faible, la température de l'eau refroidie doit être élevée. Si la charge de chauffage de l'immeuble est faible, la température de l'eau chaude doit être abaissée. Éviter le chauffage et le refroidissement simultanés d'une zone.

—De façon spécifique, la température du débit d'air primaire est maintenue à des niveaux constants de refroidissement et de chauffage, ce qui nécessite un autre réchauffement ou un autre refroidissement pour répondre aux fluctuations de la charge. Ainsi, le système fonctionne surtout pour réchauffer ou refroidir, ce qui entraîne inévitablement un gaspillage d'énergie. Pour réduire ce gaspillage, ajuster la température du débit d'air primaire de l'appareil de traitement d'air conformément à la charge; c'est-à-dire, dans des conditions de charge légère de chauffage, le serpentin de chauffage de l'air primaire doit être adapté de façon à réduire la température du débit d'air. Dans des conditions de charge légère de refroidissement, le serpentin refroidisseur du débit d'air doit être ajusté de la même façon pour élever la température du débit d'air. Effectuer ce changement, de préférence, en réglant les températures de l'eau (plutôt que le volume) sur les serpentins du centre. De cette façon, les refroidisseurs et les chaudières se rapprocheront plus facilement de leur efficacité maximale.

—Enlever les filtres à charpie dans les appareils à induction et nettoyer les serpentins régulièrement.

—Les heures de relâche durant l'hiver permettent de réaliser des économies si l'on ferme le système de débit d'air primaire et qu'on utilise les serpentins de chauffage des appareils d'admission, comme convecteurs.

Systèmes à volume variable

—Lorsque les registres commencent à se fermer (ce qui indique que le besoin d'alimentation en air a diminué), réduire le volume du ventilateur (et la puissance fournie correspondante) jusqu'à ce qu'un ou plusieurs registres de volume d'air variable soient à nouveau entièrement ouverts. Régler le volume du ventilateur soit avec les registres d'admission en tourbillon, soit avec un dispositif d'entraînement à régime variable comme, par exemple, un moteur à vitesses multiples ou une commande d'un régime de changement de vitesse (SCR).

—Régler de nouveau la température du débit d'air, au point où le registre de la boîte du volume d'air variable, desservant la zone ou le local où la charge est la plus forte, soit entièrement ouvert. Le maintien d'une température constante du débit d'air, même lorsque tous les registres de volume d'air variable sont partiellement fermés, représente une perte d'énergie. La température constante accroît la déperdition ou l'amplification de la chaleur du conduit et annule les avantages obtenus par les modifications apportées à la température de l'eau chaude ou refroidie. (Avant de réduire le volume du ventilateur et/ou de régler à nouveau la température du débit d'air, procéder à une analyse qui déterminera les niveaux optimums de réglage approprié au bâtiment.)

—Abaisser la température de l'eau chaude et augmenter celle de l'eau refroidie selon les exigences thermiques.

—Réduire le volume total d'air écoulé par le système.

—Voir à ce que toutes les boîtes du volume d'air variable fonctionnent conformément aux exigences du local pour empêcher tout chauffage ou refroidissement exagéré.

—S'assurer, lorsqu'on règle les volumes d'air et que l'air extérieur est fourni par le même système, que les exigences réglementaires relatives à l'air extérieur sont toujours respectées.

Systèmes de serpentins de ventilation

—Consulter les articles *"Systèmes de chauffage"* et *"Systèmes à un seul conduit"* en ce qui a trait aux recommandations générales, pertinentes aux systèmes de serpentins de ventilation.

—Dans les cas où de nombreux serpentins de ventilation sont utilisés dans un bâtiment, ils doivent être munis d'un dispositif de chauffage et/ou de refroidissement à une température constante, dont le contrôle est assuré par un débit variable dans le serpentin. Pour régler les systèmes de chauffage et de refroidissement, il faut tenir compte de la charge à pourvoir. Par exemple, quand la charge de chauffage est légère, et que la plupart des soupapes de contrôle, qui font varier le débit d'air, sont partiellement fermées, abaisser la température de l'eau chaude jusqu'à ce qu'une ou plusieurs soupapes soient complètement ouvertes.

—Lorsque le temps n'est pas froid en hiver, et durant la nuit, fermer les ventilateurs et laisser le serpentin agir comme convecteur. Par temps rigoureux, lorsque le bâtiment n'est pas occupé mais qu'il faut quand même le chauffer, ou lorsque le bruit excessif ne pose pas de problème, ouvrir les ventilateurs à pleine force.

—Nettoyer les filtres et les serpentins.

—Fermer les registres amenant l'air extérieur, lorsque l'infiltration d'air équivaut aux exigences de la ventilation, ou les condamner en permanence.

—Boucher les prises d'air qui n'ont pas de registres, si l'infiltration répond aux exigences de la ventilation.

—Dégager les prises et les sorties d'air de toute obstruction.

—Lorsque les serpentins de ventilation ne sont pas placés dans des locaux climatisés, calorifuger les gaines afin de réduire la déperdition ou l'amplification de la chaleur.

Appareils fixés aux fenêtres ou dans les murs

—Nettoyer les serpentins condenseurs et évaporateurs ainsi que les volets des prises d'air.

—Étanchéifier les ouvertures entre l'appareil et le cadre de la fenêtre ou du mur.

—Enlever les appareils ou les couvrir d'une housse en plastique durant les mois d'hiver.

—Munir les appareils d'une commande ou d'une minuterie thermostatique pour les arrêter automatiquement.

—Fermer le climatiseur et le ventilateur au moment de quitter les locaux.

—Les appareils avec des éléments chauffants à résistance ont ordinairement des arrivées d'air qui font entrer l'air extérieur lorsque les appareils sont en marche. Fermer ces arrivées d'air quand les appareils ne sont pas en opération, ou les boucher complètement si l'infiltration répond aux exigences de l'air extérieur.

Diminuer la puissance perdue du ventilateur en réduisant la résistance du système

—La plupart des systèmes de conduits sont munis de registres d'équilibrage qui assurent le débit d'air approprié à chacun des registres ou diffuseurs. La méthode d'équilibrage, probablement utilisée à l'origine, consistait d'abord à déterminer la plus longue canalisation, laquelle normalement avait la plus haute résistance à l'air, à laisser ses registres d'équilibrage tout grand ouverts et à fermer tous les autres pour obtenir le débit d'air nécessaire. Ainsi, plus une canalisation est courte, vers une sortie d'air donnée, plus les registres d'équilibrage sont fermés et plus grande est la perte de puissance dans cette canalisation. Réduire la résistance dans la plus longue canalisation ou circuit indicateur, de manière à ce que tous les registres d'équilibrage puissent être ouverts et la résistance totale du système réduite. Diminuer aussi la résistance dans toute les autres dérivations ou parties du système.

—Enlever tous les registres inutiles ou autres obstructions des conduits d'arrivée et de retour d'air.

—Éliminer les coudes et les tournants en U à haute résistance. Un raccord défectueux peut augmenter la résistance de tout le système de plus de ½ po (pression normale).

—Si la plupart des registres d'un système sont entièrement ou en partie fermés pour l'équilibrer, voir à réduire le volume total d'air et à ouvrir quelques registres afin d'épargner l'énergie de la ventilation.

—Nettoyer fréquemment les filtres, les roues à aubes du souffleur et les pales en spirale du ventilateur afin de réduire la friction.

—Remplacer les filtres à faible efficacité et à haute résistance par des filtres offrant moins de résistance à l'air et une plus grande efficacité.

—Nettoyer le côté exposé à l'air de tous les serpentins des appareils. Des serpentins propres sont plus efficaces de sorte qu'il faut moins d'énergie pour faire fonctionner l'équipement primaire de chauffage ou de refroidissement. (Les mesures précitées, en elles-mêmes, augmentent le volume de l'air et la puissance en h. p. du ventilateur. Si la vitesse du ventilateur est réduite pour maintenir le même volume d'air, le travail fourni par le ventilateur se trouve réduit.)

—Colmater les fissures dans les canalisations, dans les appareils de climatisation ainsi que dans les raccords des conduits flexibles.

—Même si les fuites d'air du système de ventilation n'augmentent pas la résistance à la circulation d'air comme telle, elles font perdre de l'énergie de deux autres façons:

1. ces fuites augmentent la quantité totale d'air écoulée par le ventilateur, à un point qui dépasse le niveau requis pour satisfaire aux conditions de la pièce.
2. ces fuites d'air augmentent la quantité de l'air qui doit être refroidi ou réchauffé. Il en résulte une consommation d'énergie bien supérieure à ce qu'il faudrait pour satisfaire aux conditions de la pièce.

Les fuites d'air dans la canalisation la plus longue ou la plus résistante imposent une charge de résistance particulièrement forte à tout le système, puisque les registres de toutes les autres canalisations doivent être fermés.

—Lorsqu'on utilise des ventilateurs à commande directe, et qu'il est difficile ou coûteux de changer la vitesse du ventilateur ou son moteur, on peut dans ce cas obturer la partie inutilisée des hottes d'échappement des cuisines et des cafeterias afin de réduire le volume d'air et la puissance exigée.

—Isoler les canalisations où se produisent les déperditions de chaleur. Isoler les conduits utilisés pour le conditionnement de l'air, lorsqu'ils traversent des locaux non climatisés.

Réduire la puissance perdue du ventilateur en réduisant le volume d'air.

—Réduire le volume d'air en ralentissant la vitesse de rotation—

1) lorsque la poulie du moteur est réglable, ouvrir le "v" pour réduire son diamètre effectif et régler la position du moteur ou changer les courroies afin de maintenir la tension appropriée;
2) remplacer la poulie du moteur, s'il n'y a pas d'autre moyen possible de faire l'ajustement;
3) si les moteurs sont à régime variable, en régler la commande pour obtenir une vitesse réduite.

—Après avoir fait les changements nécessaires pour réduire la puissance exigée du ventilateur, il se peut que le moteur existant soit maintenant trop gros. Le rendement d'un moteur dont la charge est réduite ne diminue pas, mais le facteur de puissance faiblit. Le facteur de puissance doit donc être vérifié et corrigé, s'il y a lieu.

—Si le ventilateur est à commande directe, il en coûte très cher pour changer la vitesse de rotation. Toutefois, les moteurs électriques sont parfois au-dessus des dimensions moyennes et si la résistance du système est réduite de façon importante, le moteur de dimension réduite qui vient immédiatement après et fonctionnant à une vitesse ralentie sera certainement bien approprié. Dans ce cas, calculer les économies qui découleront de la réduction de puissance exigée pour déterminer s'il est économique de changer les moteurs pour obtenir la réduction de vitesse.

—Les déperditions, dans le train d'entraînement et les paliers, peuvent représenter jusqu'à 20 p. 100 de la consommation totale de l'énergie si l'entretien est négligé. Les paliers doivent faire l'objet d'un examen de détection d'usure et de résistance au mouvement. Une tension exagérée de la courroie imposera aussi une charge accrue au moteur. Ajuster ou remplacer les courroies dérapantes.

—Faire fonctionner les systèmes d'échappement par intermittence afin de réduire la durée totale d'utilisation. Dans de nombreux bâtiments, les salles de toilette et autres zones n'ont besoin d'être ventilées que pendant des périodes limitées. Si l'on fait en sorte que le fonctionnement des ventilateurs aspirants et des registres soit intégré aux interrupteurs d'éclairage, dans un immeuble à bureaux doté d'un système assurant une ventilation de 100 p.c.m. dans chacune des 20 salles de toilette, on pourrait réduire l'échappement total à une moyenne de 400 p.c.m. seulement dans une journée.

Réduction de la consommation d'énergie des pompes

—Vérifier régulièrement toutes les pompes pour assurer l'étanchéité des bagues de presse-étoupe. Éviter le gaspillage d'eau en remplaçant l'étoupage, non seulement pour garder l'eau et réduire les pertes, mais aussi pour éviter l'érosion qui entraîne des réparations coûteuses de l'arbre.

—Réduire le débit d'eau lorsque l'appareil de chauffage terminal peut continuer à bien fonctionner à débit réduit. Dans le cas d'un système à eau refroidie, prendre soin de ne pas réduire le débit au point qui demande une température plus basse d'aspiration. De façon générale, la consommation de l'énergie à cette température plus faible d'aspiration pour abaisser la température de l'eau refroidie (pour assurer le contrôle de la température ou de l'humidité) dépasserait l'énergie économisée en réduisant la puissance nécessaire au pompage.

—Des robinets-vannes peuvent être utilisés pour réduire le débit et économiser de l'énergie. Toutefois, la plupart des systèmes de chauffage à eau chaude étant munis de pompes à commande directe, il n'est pas possible de réduire la vitesse de la pompe quand la friction du système est réduite par l'ouverture des robinets ou par l'élimination des résistances. Il est souvent possible de remplacer la turbine de la pompe en vue de réduire la puissance exigée du moteur. Pour plus de renseignements, consulter les instructions du fabricant.

—Comparer la puissance fournie au moteur de la pompe à celle qui figure sur la plaque du fabricant.

Tuyauterie

—Réparer ou remplacer le calorifugeage défectueux sur les canalisations de vapeur et à eau traversant les locaux non climatisés.

—Isoler les tuyaux, les robinets, les raccords et les échangeurs de chaleur lorsque de la chaleur est perdue dans les locaux non climatisés, ou lorsque la déperdition de chaleur ajoute à la charge de refroidissement durant les mois d'été.

—Isoler la tuyauterie à eau froide utilisée pour le conditionnement de l'air afin qu'elle ne se réchauffe pas dans les locaux non climatisés.

—Protéger l'isolant de la tuyauterie contre l'eau et l'humidité pour lui conserver sa résistance thermique.

—Vérifier les différences élevées de température dans les échangeurs de chaleur; ces différences peuvent être un indice de blocage d'air, d'encrassement des filtres ou d'oxydation d'excessive.

—Réparer les fuites dans les purgeurs de vapeur ou remplacer les purgeurs. Pour détecter le purgeur qui fuit, vérifier la température des canalisations de retour au moyen d'un pyromètre de surface et mesurer la chute de température sur le purgeur. S'il n'y a pas d'abaissement de température, cela signifie que la vapeur circule. Une chute excessive de température signifie que le purgeur retient le produit de condensation.

—Les canalisations d'eau chaude et d'eau refroidie requièrent une élimination d'air presque complète. Donc, vérifier les purges d'air avant de réduire la température de l'eau en vue d'obtenir un meilleur refroidissement ou avant d'élever la température de l'eau pour satisfaire la charge de chaleur du local.

Éclairage

L'éclairage est un phénomène que nous connaissons bien et dont nous dépendons, n'est-ce-pas? Et bien, il semble que non, puisque partout au Canada des industries gaspillent encore d'énormes quantités d'énergie en utilisant des sources de lumière inadéquates ou en négligeant de les entretenir, ce qui augmente en définitive le coût de l'éclairage. Les conséquences néfastes ne s'arrêtent pas là. Quelle proportion de la productivité est perdue et combine d'accidents industriels se produisent dans des endroits mal éclairés, soit parce qu'il manque d'appareils d'éclairage, soit parce que la poussière s'est accumulée sur les ampoules, réduisant ainsi leur efficacité? Personne ne sait vraiment, mais une visite dans une usine type nous indique en général clairement que le manque de connaissances ou la négligence au sujet de l'éclairage coûte très cher à l'industrie canadienne.

Trois questions fondamentales

Si on établit un lien entre la conservation de l'énergie et l'éclairage dans une usine donnée, des questions évidentes se posent qui ne peuvent demeurer sans réponses. La première d'entre elles est la suivante: l'éclairage actuel est-il suffisant? Les systèmes d'éclairage actuels pourraient-ils être remplacés par des systèmes garantissant une utilisation plus rationnelle de l'énergie? Par voie de conséquence, la question suivante se pose: les niveaux d'éclairage actuels sont-ils suffisants pour répondre aux normes de sécurité et de productivité de l'usine? Ces deux questions sont connexes en ce sens que si un éclairage supplémentaire est requis, il est souvent plus rentable pour la compagnie d'améliorer son système pour obtenir un éclairage plus efficace.

Par exemple, si le niveau d'éclairage observé d'une fonderie éclairée par des lampes à incandescense correspond à 20 pieds-bougies, il n'est alors nullement nécessaire de doubler le nombre de lampes du système. Ce qu'il faut, bien souvent, ce sont des lampes plus efficaces, mais moins nombreuses, qui garantissent un meilleur éclairage à des coûts moindre par lumen. Ce sujet est traité plus en profondeur ultérieurement.

La prochaine question fondamentale a trait à la situation inverse: on doit toujours se demander si les niveaux d'éclairage de l'usine et du bureau peuvent être réduits. Dans beaucoup de bâtiments industriels, les systèmes ont été installés lorsque l'énergie était considérée bon marché et que l'éclairage éblouissant était perçu comme un avantage indéniable pour l'employé.

Maintenant que l'énergie est loin d'être bon marché, des recherches ont montré que des niveaux d'éclairage plus faibles sont souvent plus efficaces pour des tâches visuelles données, tandis que des niveaux trop élevés causent des problèmes physiologiques. Un grand nombre de directeurs d'usine ignorent cependant quels sont les niveaux d'éclairage dans leur usine et, par conséquent, ne font rien pour remédier au problème. Dans beaucoup de cas, le tiers ou même la moitié des lampes à fluorescence peuvent être déconnectées et enlevées sans perte d'acuité visuelle. Lorsque cette mesure s'applique, conjointement avec l'utilisation d'un éclairage d'appoint (mentionné plus loin), il en résulte d'importantes économies. Un exemple de diminution de l'éclairage par fluorescence cité dans une section ultérieure traite des problèmes physiques et de relations entre employés qui doivent être résolus dans le cadre d'une diminution générale de l'éclairage. Mais, comme règle de base, les lampes doivent être enlevées en paires afin d'empêcher le bris des ballasts. De plus, à moins que le ballast ne soit complètement debranché, une diminution du facteur de puissance risque de nuire à l'efficacité du programme.

Si les niveaux d'éclairage par fluorescence ne dépassent que légèrement les normes établies, l'emploi de tubes fluorescents économiseurs d'énergie doit être pris en considération. Ceux-ci réduisent la consommation d'énergie de 15 à 20 p. 100 tout en ne diminuant que faiblement le niveau d'éclairage (11 p. 100).

Il est peu probable qu'un système de lampes à incandescence procure un niveau d'éclairage trop élevé, mais dans des cas précis où un éclairage par incandescence de plus faible intensité est nécessaire, la solution la plus simple est de changer les lampes par d'autres de puissance inférieure.

La dernière question fondamentale qui doit être posée est la suivante: est-ce que les lumières brûlent inutilement? La réponse dans la plupart des cas est un "oui" retentissant. C'est pourtant un secteur qui peut permettre des économies substantielles s'il est adéquatement contrôlé.

Évidemment, les vieilles habitudes sont difficiles à perdre. Aussi, un grand nombre d'employés laissent-ils les lampes allumées souvent parce qu'ils ont entendu dire qu'il est plus économique de laisser les lumières brûler plutôt que de laisser s'user par les allumer et les éteigner continuellement.

Le fait d'allumer et d'éteindre les lampes fréquemment a des conséquences qui varient en fonction du type de lampes utilisées et, si les lampes sont allumées et éteintes toutes les deux minutes, leur durée n'en sera que grandement atténuée. Mais, en règle générale, (et ceci devrait être souligné aux employés), il est beaucoup plus économique au point de vue énergétique de simplement éteindre les lumières d'une pièce lorsqu'elles ne sont pas nécessaires, soit parce que la piéce n'est pas utilisée, soit parce que la lumière du jour procure un éclairage suffisant aux endroits à proximité des fenêtres.

Un grand nombre de moyens peuvent être utilisés en vue d'encourager les employés à éteindre les lumières (quelques-uns sont mentionnés dans un des fascicules intitulée «Économies d'argent grâce à la motivation et à la participation de

l'employée»). Mais parmi ceux sur lesquels les directeurs d'usine peuvent exercer un contrôle plus direct, mentionnons l'installation d'un nombre suffisant d'interrupteurs dans des endroits bien visibles permettant ainsi d'éteindre des lampes dans un ou deux bureaux, par exemple, sans nécessairement plonger tout l'étage dans l'obscurité, et évitant l'employé motivé d'avoir à marcher 100 pieds pour se rendre à un tableau central d'interrupteurs dans le but d'éteindre des lumières inutiles.

Niveaux d'éclairage

Le terme "pied-bougie" exprime l'intensité lumineuse d'un endroit donné en lumens par pied carré. A titre d'exemple, l'intensité lumineuse de la terre dépasse 10,000 pieds-bougies par temps clair par rapport à 1000 par temps nuageux et 0.01 par clair de lune. Voici les niveaux d'éclairage d'appoint habituellement en vigueur dans les installations de la compagnie 3M.

Destination	Moyenne de Pieds-bougies reels*
Service de comptabilité	70
Salle de conférence	50
Corridors	20
Salle de dessin	70
Service alimentaire	30
Cuisines	70
Laboratoires	70
Biblithèques	70
Vestibules	30
Vestiaires	20
Salle commune	20
Atelier d'adjustage et d'entretien	50
Bureaux communs	70
Bureaux privés	50
Terrains de stationnement	0.3
Aire de production	
Transformation:	
découpage, fendage	70
aire de service	40
Fabrication:	
enroulement, déroulement	70
intérieur du four	20
extérieur du four	50
inspection	70
Mélange, fraisage, réacteurs chimiques	50
Contrôle de la qualité	70
Voies	0.2
Plates-formes de changement et de déchargement	20
Magasins et armoires à outils	40
Entrepôt:	
matières permières en vrac	10
produits finis et semi-finis	20

Les pieds-bougies réels, contrairement aux pieds bougies initiaux, tiennent compte de la perte de lumière causée par le facteur de dépréciation de la lampe, l'accumulation de saletés, etc.

Conjointement au programme visant à assurer que les employés éteignent les lampes inutiles, il est recommandé de prendre en considération l'installation d'un système de minuterie fonctionnant sept jours par semaine et assurant l'extinction des lumières superflues au cours de la nuit, des fins de semaine ou des périodes entre les quarts de travail. Le coût d'une telle installation est vite amorti grâce à la réduction de la consommation d'énergie.

Si les minuteries et les cellules photo-électriques ont leur place dans les bureaux et les usines, ils deviennent une véritable nécessité lorsqu'il s'agit de mettre un terme au gaspillage d'énergie causé par l'éclairage extérieur. Ce problème fait appel à un programme en deux étapes qui consiste, à premièrement, ramener les niveaux d'éclairage extérieur, comparables à ceux de Las Vegas, aux niveaux nécessaires à une sécurité adéquate, et, deuxièmement, installer des minuteries ou des cellules photo-électriques afin d'assurer, par exemple, que l'éclairage de montres est éteint à 22h00 ou que les lumières du terrain de stationnement ne s'allument pas à la même heure les jours plus longs, comme les jours plus courts de l'année.

Progrès de l'éclairage.

Beaucoup d'industries ont apporté des améliorations substantielles à leur système d'éclairage pendant les années où les sources de lumière efficaces n'étaient qu'à leur début. En fait, il n'y a pas tellement logtemps (1948-1957) que les lampes à fluorescence ont commencé à remplacer les lampes à incandescence moins efficaces.

Cependant, les niveaux d'éclairage recommandés ont toujours été beaucoup moindres que ceux actuellement exigés pour la même tâche. Par exemple, le niveau d'éclairage minimum recommandé dans les ateliers d'ajustage pour les rudes travaux d'outillage et d'usinage était de 20 pieds-bougies comparativement à 50 aujourd'hui. En ces temps-là, les lampes à incandescence pouvaient facilement produire 20 pieds-bougies. Cependant, leur production maximale atteignait environ 35 pieds-bougies lorsqu'on les installait plus bas. A ce niveau d'éclairage, la chaleur produite par les lampes à incandescence, soit 88 p. 100 de l'énergie produite, créait un malaise physique qui limitait leur utilisation dans un grand nombre de domaines.

Les lampes à fluorescence à plus grande efficacité ont commencé à connaître leur véritable essor vers 1958 et depuis ce temps, les manufacturiers de lampes et d'appareils d'éclairage ont mis au point de nouveaux appareils et de nouvelles sources d'éclairage beaucoup plus efficaces. Par exemple, la lampe à incandescence de 19 lumens par watt est maintenant remplacée dans l'industrie par des lampes à vapeur de sodium à haute pression de 128 lumens par watt. En d'autres mots, une seule de ces lampes éclaire autant que six lampes à incandescence.

EFFICACITÉ DES SOURCES D'ÉCLAIRAGE — LUMIÈRE ET CHALEUR

SOURCE D'ECLAIRAGE	PUISSANCE DE LA LAMPE	PUISSANCE DU BALLAST	LUMENS INITIAUX	DUREE NOMINALE (EN HEURES)	TOTAL DES WATTS	GAINS DE CHALEUR (BTU/h) (Total des W x 3.4)	LUMENS/ WATTS
À INCANDESCENCE (VERRE DEPOLI)	300	–	5 720	1 000	300	1020	19
	500	–	9 900	1 000	500	1700	20
	1000	–	23 740	1 000	1 000	3400	24
À FLUORESENCE	2 x 40 (430 mA)	17	6 300	18 000	97	330	65
	2 x 75 (430 mA)	31	12 600	12 000	181	615	70
	2 x 60 (800 mA)	20	8 600	12 000	140	476	61
	2 x 110 (800 mA)	45	18 400	12 000	268	911	69
	2 x 110 (1500 mA)	47	12 000	9 000	267	908	45
	2 x 165 (1500 mA)	55	19 800	9 000	385	1309	51
	2 x 215 (1500 mA)	50	29 000	9 000	480	1632	60
À VAPEUR DE MERCURE	250	35	12 100	24 000	285	969	42
	400	50	22 500	24 000	450	1530	50
	2 x 400	75	45 000	24 000	875	2975	51
	1000	70	63 000	24 000	1070	3638	59
AUX HALOGÉNURES	175	40	14 000	7 500	215	731	65
	400	50	34 000	15 000	450	1530	76
	2 x 400	80	68 000	15 000	880	2992	77
	1000	80	100 000	10 000	1080	3672	93
À VAPEUR DE SODIUM HAUTE PRESSION	250	53	25 500	15 000	303	1030	84
	400	75	50 000	20 000	475	1615	105
	2 x 400	150	100 000	20 000	950	3230	105
	1000	95	140 000	15 000	1095	3723	128

NOTA: CES DONNÉES SONT COURANTES ET DOIVENT EXCLUSIVEMENT SERVIR DE GUIDE

mars 1975

Nouvelles possibilités

Un grand nombre de systèmes d'éclairage coûteux et démodés actuellement en usage dans des usines peuvent être améliorés afin de procurer un éclairage efficace à des coûts d'exploitation beaucoup moindres.

Même si les immobilisations nécessaires à un nouveau système d'éclairage ont toujours été et demeurent encore un facteur important en regard des coûts actuellement en vigueur, les économies réalisées tant au niveau de l'exploitation que de l'entretien amortissement généralement le coût du nouveau système en quelques années. Et ce qui est également important, les nouveaux systèmes offrent un meilleur éclairage avec tous les avantages que cela comporte moins de gaspillage, meilleure productivité, sécurité accrue et meilleur moral des employés. Bref, les facteurs économiques en faveur d'un éclairage amélioré sont très avantageux, mais la décision d'apporter un changement doit tenir compte de d'autres "facteurs qualitatifs" pour être valable.

Éclairage d'appoint ou éclairage en fonction des besoins.

Les systèmes d'éclairage, maintenant plus économiques, sont destinés à procurer un éclairage adéquat pour accomplir une tâche dans un endroit donné. Un éclairage supplémentaire ou "d'appoint" est généralement installé dans les endroits nécessitant des niveaux d'éclairage plus élevés que d'habitude.

Ces lampes d'appoint sont situés en périphérie au-dessus du secteur donné de travail, à proximité de l'opérateur pour que la lumière réfléchie par la surface éclairée ne l'aveugle pas. Dans un atelier d'ajustage dont le niveau d'éclairage est généralement de 100 pieds-bougies, un seule machine automatique peut exiger jusqu'à 500 pieds-bougies d'éclairage pour assurer une meilleure visibilité. Pour atteindre ce niveau, il est plus économique d'avoir recours à un éclairage supplémentaire.

Évidemment, certains endroits, particulièrement ceux non réservés à la production, ne nécessitent pas le même niveau d'éclairage. Dans ce cas, un plus petit nombre de lampes à plus faible puissance procure un éclairage adéquat et réduit les coûts.

Lumens par watt — une mesure d'efficacité.

Une évaluation des caractéristiques de chaque lampe lors de l'examen des diverses possibilités d'éclairage, révèle qu'il existe une importante relation entre le nombre de watts fournis et le rendement en lumens. Ce rapport est l'un des nombreux critères importants qui entrent en ligne de compte dans le choix d'un système d'éclairage.

Parmi les options possibles, les lampes à incandescence sont les moins efficaces. Une lampe à incandescence de 500 watts et dont la durée nominale est de 1000 heures, produit 9070 lumens (soit 19 lumens par watt). Par comparaison, une lampe à incandescence de 1000 watts produit 23740 lumens ou 24 lumens par watt.

Les lampes à fluorescence, dont la durée nominale varie de 9000 à 18000 heures, assurent à la fois une durabilité prolongée et moins d'entretien, en plus d'une efficacité considérablement accrue. Par exemple, la lampe de 40 watts, la plus couramment utilisée à des hauteurs de montage de moins de douze pieds, fait habituellement partie des appareils d'éclairage à deux ou à quatre ampoules. Dans ce cas, la lampe plus le ballast d'un appareil à deux ampoules nécessitent environ 97 watts au total et produisent 6300 lumens, soit un rendement de 65 lumens par watt.

Les lampes à décharge de haute intensité, utilisées de plus, sont généralement plus efficaces. La première d'entre elles est la lampe à vapeur de mercure. Mise au pont dans les années 1950 et beaucoup améliorée depuis, cette lampe a marqué une importante évolution dans le domaine des sources d'éclairage compactes et hautement efficaces.

Sa durée maximale de 24000 heures et plus représente quatre ou cinq ans d'éclairage de bonne qualité ne nécessitant aucun entretien. Toutefois, les lampes de plus faible puissance, comme celle de 250 watts, utilisées dans des entrepôts et autres endroits non critiques ont un rendement de 42 lumens seulement par watt. Les lampes de 1000 watts produisent jusqu'à 59 lumens et conviennent aux installations très spacieuses.

Réamorçage et périodes d'échauffement

Il existe des lampes à vapeur de mercure à ballast intégré qui peuvent être vissées à l'intérieur des douilles destinées aux lampes à incandescence. Leur durabilité et leur rendement sont moindres que ceux des lampes à vapeur de mercure ordinaires. De plus, certains ballasts pouvent être vissés séparément dans les douilles pour lampes à incandescence; les lampes à vapeur de mercure sont ajoutées par la suite.

La lampe aux halogénures, une des lampes à décharge de haute intensité les plus récentes, a une espérance de vie quelque peu plus courte que la lampe au mercure, mais son rendement en lumens est considérablement plus élevé.

Par exemple, une lampe à vapeur de mercure de 400 watts produit 50 lumens par watt, tandis qu'une lampe aux halogénures de même puissance en produit 76, soit un rendement 50 p. 100 plus élevé. Encore plus efficace, la lampe aux halogénures de 1000 watts produit 93 lumens par watt et offre un éclairage adéquat dans les endroits spacieux.

Le dernier membre de la famille des lampes à décharge de haute intensité est la lampe à vapeur de sodium haute pression. Elle doit être considérée comme la cource de lumière la plus efficace dans les domaines commerciaux et industriels. Celle de 250

Comparaison des économies possibles selon le type de lampe utilisé

SI VOUS UTILISEZ ACTUELLEMENT DES	ET LES REMPLACEZ PAR DES LAMPES à vapeur de mercure	aux halogénures	à vapeur de sodium haute pression	VOUS OBTIENDREZ LE SUPPLÉMENT SUIVANT Éclairage (L)	Durée	VOUS ÉCONIMISEREZ LA QUANTITÉ D'ÉNERGIE SUIVANT (W) Watts	% Watts	$ par année (S)
Lampes à incandescence (m)								
100 W	50	—	—	0.8x	21x	33	66	264
	75	—	—	1.5x	21x	7	7	56
150 W par	75	—	—	1.5x	8x	57	38	456
	100	—	—	2.5x	8x	29	19	232
200 W	100	—	—	1.0x	21x	79	40	632
	175	—	—	2.1x	21x	—5	—3	—40
	—	175	—	2.8x	10x	10	5	100
	—	—	150	4.2x	16x	15	8	120
300 W	175	—	—	1.3x	21x	90	30	720
	250	—	—	1.9x	21x	15	5	120
	—	175	—	1.7x	10x	95	32	760
	—	—	150	2.7x	16x	115	38	920
500 W	250	—	—	1.1x	16x	215	43	1720
	400	—	—	2.1x	16x	46	9	368
	—	175	—	1.0x	7.5x	295	59	2360
	—	400	—	2.9x	15x	38	8	304
	—	—	150	1.6x	12x	315	63	2520
	—	—	250	2.5x	16x	180	36	1440
750 W	400	—	—	1.3x	16x	296	40	2368
	—	499	—	1.8x	15x	288	39	1804
	—	—	150	1.0x	12x	565	75	4520
	—	—	250	1.6x	15x	430	57	3440
	—	—	400	3.1x	20x	272	36	2176
1 000 W	400	—	—	1.0x	16x	546	55	4368
	—	400	—	1.5x	15x	538	54	4304
	—	—	250	1.3x	15x	680	68	5440
	—	—	400	2.5x	20x	522	52	4176
1 500 W	1000	—	—	1.6x	16x	425	28	3400
	—	400	—	0.9x	15x	1038	69	8284
	—	1000	—	2.8x	10x	420	28	3360
	—	—	400	4.0x	20x	1022	68	8176
1 500 W — type T3 (Iodure de quartz)	1000	—	—	1.4x	8x	425	28	3400
	—	1000	—	2.3x	5x	420	28	3360
	—	—	400	1.3x	10x	1022	68	8176
	—	—	1000	3.4x	5x	350	23	2740
Lampes fluorescentes								
4 de 40 po	—	—	150	1.3x	0.6x	11	6	88
2 à haute intensité de 96 po	—	—	150	0.9x	1.0x	56	23	448
2 de 96 po et de	—	400	—	1.0x	1.7x	13	3	104
1 500 mA	—	—	250	0.9x	1.7x	155	33	1240
Lampes à vapeur de mercure								
175 W	—	175	—	1.3x	0.5x	—5	—2	—40
	—	—	150	2.1x	0.8x	20	10	160
250 W	—	175	—	0.9x	0.5x	75	26	600
	—	—	150	2.4x	0.8x	100	35	800
400 W	—	400	—	1.4x	0.9x	—8	—2	—64
	—	—	150	0.8x	0.8x	269	59	2152
	—	—	250	1.2x	0.9x	134	30	1072
1 000 W	—	1000	—	2.5x	0.6x	—85	—8	—680
	—	—	400	1.1x	0.9x	597	55	4776
Lampes aux halogénures								
175 W	—	—	150	1.5x	1.6x	25	12	200
400 W	—	—	250	1.0x	1.0x	142	31	1136
	—	—	400	1.7x	1.3x	—16	—4	—128
1 000 W	—	—	1000	1.5x	1.0x	—70	—6	—560
1 500 W	—	—	1000	0.8x	6.7x	460	29	3680

(m) Signifie les lumens basés sur 85 p. 100 des lumens initiaux

(W) Les économies de watts comprennent les pertes de puissance des ballasts

(S) Les économies, basées sur un total de 100 luminaires, 4 000 heures de fonctionnement par année et le coût de l'énergie fixé à $0.02 le k Wh, = (nombre de luminaires) x (watts par luminaire) x (heures de fonctionnement par année) x (coût de l'énergie en $/k Wh) ÷ 1 000 = (100) x (W) x (4 000) x (0.02) ÷ 1 000 = 1 000 = 8 (W)

(M) La durée des lampes à vapeur de mercure est présumée être de 16 000 heures, ce qui signifie que la durée des lumens est encore plus longue

(L) L'éclairage supplémentaire obtenu est basé sur la moyenne des lumens par lampe et ne correspond pas nécessairement à l'eclairage effectivement fourni. Et ce, principalement parce que l'efficacité et le diagramme de répartition lumineuse des luminaires n'ont pas été pris en considération.

watts produit 84 lumens par watt, tandis que celle de 1 000 watts en produit 128 et consume 1 095 watts, ballast compris.

Il n'y a pas que de lumière "blanche"

Les divers types d'éclairage offrent des lumières de couleurs variées et le choix de couleurs fourni par les différentes sortes de lampes a été amélioré au point d'être maintenant acceptable dans de nombreux domaines. La seule exception est la lampe à vapeur de sodium à haute pression qui, en raison de sa chaude lumière jaunâtre, n'est pas recommandable lorsqu'il s'agit d'assortir des couleurs dans les usines de textile, d'automobiles ou dans tout autre secteur nécessitant un bon rendu de couleurs. (Les lampes à vapeur de sodium à basse pression, encore plus efficaces que celles à haute pression, produisent une lumière jaunâtre très prononcée.)

Choix et évaluation du coût d'un système

Choisir un matériel d'éclairage n'est pas une tâche simple. En fait, dans chaque cas, il faut connaître certains facteurs, comme l'endroit qui doit être éclairé, la hauteur du plafond, ses particularités (ouvert ou fermé), l'existence d'obstacles physiques telles des voies de grues, et les dimensions de l'immeuble. Il faut aussi tenir compte des propriétés réfléchissantes des murs, du plafond et du plancher, de la facilité d'entretien, de la présence de poussière et, bien sûr, du niveau moyen de pieds-bougies qui doit être maintenu dans la zone de travail et les zones adjacentes. De plus, les avantages d'une source de lumière par rapport à une autre doivent être étudiés afin qu'elle procure l'effet désiré de la façon la plus économique possible et qu'elle utilise au maximum l'énergie électrique consommée.

Chaque source de lumière et son luminaire connexe a ses avantages et ses inconvénients, qui peuvent faire la différence entre une solution économique du problème et une solution ruineuse.

À la lumière de ces facteurs, il serait peut-être bon d'examiner un exemple fictif et de déterminer le système d'éclairage le plus adéquat à l'aide d'une analyse de coûts de six moyens d'éclairage différents. En supposant les conditions suivantes:

- un atelier mécanique de 10 000 pieds carrés (50 pi × 200 pi);
- une hauteur de montage de 20 à 25 pieds au-dessus du plancher;
- un éclairage de 100 pieds-bougies (I.E.S. lighting handbook);
- les heures de fonctionnement de l'usine:
  —20 heures par jour (2 quarts de travail)
  —5 jours par semaine
  —50 semaines par année ou 5 000 heures
- les murs, plafond et plancher suffisamment réfléchissants;
- le coût de l'électricité à 2.5¢ le kWh;
- les systèmes d'éclairage suivants:
  1) lampes à vapeur de sodium haute pression de 400 watts
  2) lampes aux halogénures de 400 watts
  3) lampes à vapeur de mercure (type de luxe) de 400 watts (2 par appareil d'éclairage)
  4) lampes à vapeur de mercure (type de luxe) de 1 000 watts
  5) lampes à fluorescence à très haute intensité (2 de 96 po)
  6) lampes à incandescence dépolies de 1 500 watts.

Vu cette situation et un nombre déterminé de systèmes d'éclairage possibles la méthode de sélection devient alors très mécanique et pas tellement compliquée. En fait, quatre principaux facteurs doivent être pris en considération:

- les données fondamentales;
- le coût initial:
- les coûts d'exploitation;
- le coût total.

À partir de ces facteurs, ilest possible de faire une évaluation économique raisonnable du meilleur système d'éclairage qui doit être installé.

Le tableau suivant énumère les données propres à à chacun des 28 facteurs faisant partie de ces quatre catégories et qui doivent être considérés.

La liste suivante donne une brève définition de chaque terme:

Données fondamentales

1. Flux initial nominal par luminaire — l'émission de lumière sans appareil d'éclairage.
2. Vie nominale de la lampe (en heures) à 10 heures de fonctionnement — la durée de divers types de lampe soumise à des conditions normales de voltage, de température et de vibration, et lorsque 50 p. 100 des lampes ont grillé.
3. Watts par lampe — la somme des watts de la lampe et du ballast dans chaque appareil d'éclairage.
4. Puissance d'entrée par luminaire — la somme des watts de la lampe et du ballast dans chaque appareil d'éclairage.
5. Coefficient d'utilisation — ce chiffre (toujours inférieur à un) indique les lumens effectivement émis ou l'efficacité de l'appareil d'éclairage. Il peut être obtenu du manufacturier.
6. Facteur de dépréciation de la lampe — le flux lumineux moyen d'une lampe donnée par rapport à sa vie nominale, déterminé d'après la courbe de dépréciation des lumens de la lampe, peut être obtenu du manufacturier.
7. Facteur de dépréciation dû à la poussière — la vie de la lampe en fonction de l'accumulation de poussière suivant une période et une fréquence de nettoyage données (la méthode est expliquée dans le *I.E.S. handbook, 5th editon*).
8. Flux lumineux réel par luminaire — établi en multipliant le flux lumineux initial par le coefficient d'utilisation, le facteur de dépréciation de la lampe et celui dû à la poussière; le chiffre obtenu indique la

Tableau comparatif des coûts de chaque système d'éclairage

	Description des systèmes d'éclairage 10 000 pi² 100 pieds-bougies	Lampes à vapeur de sodium à haute pression de 400 W	Lampes aux halogénures de 400 W	Lampes au mercure (type de luxe) 2 de 400 W	Lampes au mercure (type de luxe) 1 000 W	Lampes fluorescentes à très haute intensité 2 de 96 po	Lampes à incandescence dépolies de 1 500 W
Données fondamentales							
1	Flux initial nominal par luminaire	50 000	34 000	45 000	63 000	29 000	34 400
2	Vie nominale de la lampe (en heures) à 10 heures de fonctionnement	20 000	15 000	24 000	24 000	9 000	1 000
3	Watts par lampe	400	400	400	1 000	215	1 500
4	Puissance d'entrée par luminaire (y compris les pertes du ballast)	470	460	910	1 080	480	1 500
5	Coefficient d'utilisation	.76	.76	.72	.7	.7	.7
6	Facteur de dépréciation de la lampe	.9	.78	.71	.66	.7	.66
7	Facteur de dépréciation dû à la poussière	.86	.87	.83	.83	.83	.83
8	Flux lumineux réel par luminaire (1. x 5. x 6. x 7.)	29 400	17 500	19 100	24 200	11 800	13 200
9	Moyenne de pieds-bougies désirée pour une surface de travail donné	100	100	100	100	100	100
10	Zone éclairée par luminaire 8. ÷ 9.)	294	175	191	242	118	132
11	Total des luminaires produisant un même nombre de pieds-bougies (surface ÷ 10.)	34	57	52	41	85	76
12	Puissance totale installée (11. x 4.)	15 980	26 220	47 320	44 280	40 800	114 000
Coût initial							
13	Coût net d'un luminaire	$ 222.	141.	208.	208.	80.	51.
14	Coût de câblage et de distribution par luminaire — environ $60./KVA	$ 28.	28.	55.	65.	29.	90.
15	Coût d'installation par luminaire	$ 16.	16.	24.	16.	20.	16.
16	Coût net de la lampe par luminaire	$ 54.	27.	25.	24.	13.	7.
17	Coût initial de l'ensemble du système (13. + 14. + 15. + 16.) x 11.	$10 900.	12 000.	16 000.	13 000.	12 100.	12 500.
18	Dépenses annuelles en immobilisations pour le système — 15% de (13. + 14. + 15.) x 11.	$ 1 400.	1 600.	2 200.	1 800.	1 600.	1 800.
Coût de fonctionnement							
19	Heures d'utilisation par année	5 000	5 000	5 000	5 000	5,000	5 000
20	Nombre de remplacements par unité (et non par lot) effectués annuellement (19. x 11 x nombre de lampes) ÷ 2.	9.	19.	22.	9.	94.	380
21	Coût annuel du remplacement des lampes (20 x le coût net/lampe)	$ 490.	510.	275.	220.	610.	2 700.
22	Coût de la main-d'oeuvre pour un remplacement unitaire (20. x le coût de la main-d'oeuvre/lampe à $4.50/lampe)	$ 40.	86.	100.	40.	420.	1 700.
23	Coût de l'énergie par année (12. x 19.x 1.3¢/KWH 100 000)	$1 000.	1 700.	3 100.	2 900.	2 700.	7 400.
24	Total des coûts annuels de fonctionnement (21. + 22. + 23.)	$1 500.	2 300.	3 500.	3 200.	3 700.	11 800.
Total							
25	Total des coûts annuels d'immobilisation et de fonctionnement (18. + 24.)	$2 900.	3 900.	5 700.	5 000.	5 300.	13 600.
26	Total relatif des coûts annuels pour une production égale et soutenue de pieds-bougies	1.0	1.34	1.97	1.72	1.83	4.69
27	Moyenne des pieds-bougies initiaux (1. x 5. x 11.) ÷ la zone	129.	147.	169.	181.	173.	183.
28	Espacement approximatif des appareils d'éclairage (en pieds) voir n° 10.	16 x 18.5	12 x 14.5	13 x 15	15 x 16	9 x 13	11 x 12

quantité de lumière que doit normalement émettre un appareil d'éclairage en usage.
9. Moyenne de pieds-bougies désirée pour une surface de travail donnée — le nombre de pieds-bougies établi et requis pour fournir un éclairage adéquat dans la zone de travail considérée. Dans l'exemple actuel, il faut 100 pieds-bougies.
10. Zone éclairée par luminaire — la zone en pieds carrés qu'un appareil d'éclairage doit couvrir; pour l'obtenir, il s'agit simplement de diviser le flux lumineux réel de chaque luminaire par le nombre de pieds-bougies désiré.
11. Total des luminaires produisant un même nombre de pieds-bougies — la surface totale à éclairer divisée par la surface éclairée par chaque luminaire donne le nombre d'appareils d'éclairage.
12. Puissance totale installée — le nombre total de luminaires multiplié par les watts d'entrée par luminaire.

Coût initial

13. Cout net d'un luminaire — le prix coûtant d'un appareil d'éclairage adéquat sans lampe (coûts représentatifs).
14. Coût de câblage et de distribution par luminaire — comprend le câblage, la commutation, les transformateurs, etc., requis pour l'ensemble de l'installation calculée à $60.00 par kilovoltampère; ne comprend toutefois pas le coût des luminaires.
15. Coût d'installation par luminaire — le coût de la main-d'oeuvre prévue pour installer un luminaire.
16. Coût net de la lampe par luminaire — présuppose l'achat d'une importante quantité pour une grande installation.
17. Coût initial de l'ensemble du système — la somme des coûts mentionnés ci-dessus multipliée par le nombre de luminaires.
18. Dépenses annuelles en immobilisations pour le système — calculées à 15 p. 100 du coût initial des luminaires installés, mais excluant le coût des lampes (y compris dans les coûts de fonctionnement).

Coûts de fonctionnement

19. Heures d'utilisaton par année — comme il est mentionné précédemment, ceci est fonction des heures d'exploitation de l'usine par année (5 000 h par année).

20. Nombre de remplacements par unité (et non par lot) effectués annuellement — le rapport entre les heures d'usage et la vie de la lampe (en heures) multiplié par le nombre de lampes du système.

21. Coût annuel du remplacement des lampes — le lampes remplacées séparément multiplié par le coût net de la lampe.

22. Coût de la main -d'oeuvre pour un remplacement unitaire — le nombre de lampes remplacées multiplié par le coût de la main-d'oeuvre fixé à $4.50 par lampe.

23. Coût de l'énergie par année - puissance fournie multipliée par les heures d'utilisation fixées à 2.5¢ le kWh, le tout divisé par 100 000 (pour ainsi convertir les watts en kW et les cents en dollars).

24. Total des coûts annuels de fonctionnement — la somme des coûts de l'énergie, de la main-d'oeuvre et des remplacements unitaires calculée sur une base annuelle.

Total des coûts

25. Total des coûts annuels d'immobilisation et de fonctionnement — la somme des coûts annuels d'immobilisation du système et des coûts annuels de fonctionnement.
26. Total relatif des coûts annuels pour une production égale soutenue de piéds-bougies — le coût des cinq autres systèmes par rapport au système le moins coûteux.
27. Moyenne des pieds-bougies initiaux — le niveau de pieds-bougies d'un nouveau système antérieurement à toute dépréciation due à la poussière et à l'usure.
28. Espacement approximatif des appareils d'éclairage — la distance requise entre les appareils d'éclairage pour assurer la production adéquate de pieds-bougies; cette distance est obtenue en établissant le rapport entre les dimensions de l'immeuble et la surface éclairée par chaque luminaire.

Conclusion

Du point de vue de "la puissance totale installée", le système de lampes à vapeur de sodium haute pression d'une puissance de 15 980 watts répartie en 34 appareils d'éclairage est suivi de près par le système de lampes aux halogénures de 26 220 watts répartie en 57 appareils d'éclairage. Les autres systèmes sont considérablement moins efficaces au point de vue de l'utilisation de l'énergie.

En ce qui a trait au "coût initial", on remarque ce que beaucoup de propriétaires constatent habituellement: le coût initial est relativement le même pour tous les systèmes.

Toutefois, "le coût annuel de l'énergie électrique" montre encore la supériorité des systèmes de lampes à vapeur de sodium haute pression et de lampes aux halogénures.

Le total des coûts annuels de fonctionnement, comprenant le coût de remplacement des lampes, vient appuyer la conclusion précédente. Il ne faut pas oublier cependant que ce coût annuel ne tient pas compte de l'escalade des prix.

La dernière partie établit le total des coûts annuels d'amortissement et de fonctionnement du système et, pour l'exemple en question, montre clairement que le meilleur choix parmi les six systèmes serait premièrement, les lampes à vapeur de sodium haute pression et, deuxièmement, les lampes aux halogénures. Si, toutefois, une bonne perception sélective des couleurs était nécessaire, les lampes aux halogénures se classeraient au premier rang. Il faut noter cependant que chaque cas est différent et que dans un grand nombre de secteurs les lampes fluorescentes, par exemple, peuvent s'avérer un choix.

Le remplacement par lot est un système beaucoup plus efficace et, évidemment, s'il était substitué au remplacement par unité, les chiffres obtenus seraient bien différents. (Quelques manufacturiers de lampes fournissent des analyses automatisées portant sur la fréquence des remplacements par lot et par les coûts qu'ils entraînent.)

Un tel examen s'impose lorsqu'une évaluation finale de tous les facteurs susceptibles de modifier l'éclairage est nécessaire, qu'il s'agisse de systèmes d'éclairage nouveaux ou modernisés.

Entretien — la clé d'un éclairage efficace

Un système d'éclairage bien conçu doit offrir une visibilité adéquate et de bonnes conditions de vision. Bien entretenu un système d'éclairage assure de façon continue le nombre de pieds-bougies pour lequel il a été conçu à l'origine. Toute anomalie, dont l'accumulation de poussière, le grillage de lampes et autres défectuosités, nuit au rendement général du système d'éclairage.

Bref, avant d'ajouter d'autres lumières (consommant une plus grande quantité d'énergie), examiner comment entretien et un nettoyage régulier, ainsi que l'installation de nouveaux appareils d'éclairage peuvent améliorer l'éclairage actuel. Un système d'éclairage nouveau et plus efficace ne le restera pas longtemps à moins qu'il ne soit nettoyé et entretenu.

En fait, sans un nettoyage régulier des appareils d'éclairage et le remplacement des lampes usées, les niveaux d'éclairage peuvent diminuer de moitié en l'espace de quelques mois. Dans certains secteurs industriels, l'accumulation de poussière seule peut réduire de 50 p. 100 l'efficacité lumineuse et ce, en quelques semaines ou même en quelques jours. Ce qui veut dire que l'utilisateur obtient la moitié seulement de la lumière produite par l'énergie qu'il achète. En établissant un programme d'entretien dans de tels secteurs, la quantité de lumière émise peut souvent être doublée de façon immédiate et sans frais supplémentaires.

Afin de réduire davantage le coût global de l'éclairage à l'aide d'un entretien planifié, il faudrait envisager d'y inclure un système de "remplacement par lot". Si les opérations de remplacement et de nettoyage des lampes sont effectuées après les heures de travail ou pendant les périodes de vacances, l'interruption coûteuse des activités dans un secteur de production peut être évitée. Dans des usines ou des bureaux, il peut en résulter un meilleur rendement des employés.

Les économies réelles relativement au coût global de l'éclairage augmentent lorsque les installations sont conçues de manière à faciliter les opérations de remplacement et de nettoyage des lampes. Par exemple, en vue de l'entretien dans les endroits où les plafonds et les installations sont très élevés, on peut prévoir des supports pouvant être débranchés, des passerelles incorporées et des chariots de maintenance. Les coûts de nettoyage et de remplacement des lampes peuvent également être réduits au moyen de techniques nouvelles et de dispositifs modernes de nettoyage. En fait, une compagnie d'entretien de l'éclairage à contrat est souvent le moyen le plus économique et le plus sûr de faire en sorte que les systèmes d'éclairage soient adéquatement entretenus.

Plusieurs facteurs contribuent à la perte de lumière et leurs effets varient selon l'activité exercée, l'emplacement de l'immeuble, son type de ventilation et de lampe, et les appareils d'éclairage installés.

Évidemment, la quantité et le type de poussière circulant dans l'air diffère selon les endroits. Par exemple, la quantité de poussière dans une fonderie est ordinairement plus grande que celle d'un atelier d'ajustage. De la même façon, la poussière dans un bureau situé à proximité d'un secteur industriel est plus considérable que celle d'un bureau situé dans un secteur à vocation commerciale. De plus, la poussière noire propre aux acieries est différente de la poussière blanchâtre des boulangeries ou des ateliers de menuiserie.

À cet égard, il est bon de savoir qu'il existe trois principaux facteurs pouvant entraîner respectivement des pertes de lumière.

Saleté sur les lampes et appareils d'éclairage

La plus grande perte de lumière émise est due habituellement à l'accumulation de saletés sur les lampes et appareils d'éclairage. Il arrive souvent que dans un système d'éclairage industriel mal entretenu, les pertes de lumière soient de 30 p. 100 ou plus en raison de ce seul facteur.

Le graphique ci-contre illustre bien la dépréciation de la lumière attribuable à la saleté accumulée dans divers secteurs au cours d'une période de 24 mois. Ces données montrent l'effet de l'accumulation de poussière sur les réflecteurs. L'importance de la perte de lumière dépend de la sorte et de la quantité de saleté dans l'enceinte en question. Toutefois, d'autres facteurs influent sur le degré d'accumulation de saletés dont l'effet de la ventilation, le type de lampe utilisée et la finition de l'appareil d'éclairage.

Effet de la ventilation

La forme des appareils d'éclairage influe sur le taux d'accumulation de poussière, c'est-à-dire que les appareils dont le dessus est fermé accumulent de la saleté beaucoup plus rapidement que ceux dont le dessus est ventilé, comme le montre l'illustration de de gauche. Avec un appareil d'éclairage à dessus ventilé, la différence de température entre la lampe et l'air ambiant crée des courants de convection qui éloignent la poussière et la saleté du réflecteur et de la lampe.

Une étude sur les sytèmes d'éclairage à incandescence et à vapeur de mercure, a démontré que l'efficacité des appareils non ventilés diminue de 38 p. 100 en douze mois, tandis que celle des appareils ventilés ne diminue que de 6 p. 100 pendant la même période.

Type de lampe

L'accumulation de saletés sur une surface réfléchissante peut être réduite si le réflecteur est scellé, comme dans un appareil d'éclairage à l'épreuve de la poussière ou dans une lampe à réflecteur interne. Ici, l'effet de l'accumulation de poussière sur l'émission de lumière est minimisé parce que la couche réfléchissante est posée sur la surface interne de la lampe. Un nouveau réflecteur est automatiquement founi lorsque la lampe est remplacée.

Les lampes à vapeur de mercure munies d'un réflecteur interne offrent un choix de diagrammes directionnels de rayonnement et de revêtement de phosphore. La lampe à lumière blanche, modèle de luxe, convient aux secteurs industriels malpropres, car elle permet un entretien facile et assure un bon rendu de couleurs.

Saleté sur les revêtements intérieurs

Les mesures prises en vue d'assurer un bon éclairage comprennent l'utilisation de revêtements hautement réfléchissants qui créent un environnement agréable en équilibrant l'intensité de l'éclairage et en utilisant efficacement la lumière. Évidemment, l'accumulation de saletés sur les murs et les plafonds diminuent le degré de réflectance qui, à son tour, diminue la quantité de lumière réfléchie.

Dépréciation du flux lumineux

La lumière émise par les lampes diminue au fur et à mesure que celles-ci brûlent. Cette diminution est appelée "dépréciation du flux lumineux" et est une caractéristique inhérente à toutes les lampes.

Remplacement des lampes — en série ou par unité?

Les lampes d'un système d'éclairage peuvent être remplacées séparément à mesure qu'elles grillent, ou toutes en même temps. Le remplacement de toutes les lampes à un intervalle donné, en d'autres termes le remplacement en série, offre trois avantages importants. Tous ces avantages se traduisent par un éclairage hautement efficace par rapport aux sommes investies et par l'utilisation maximale de l'énergie destinée au fonctionnement du système.

a) *diminution du coût de la main-d'oeuvre*
Le remplacement en série diminue le coût de la main-d'oeuvre parce qu'une grande partie des heures de montage et des déplacements requis pour changer les lampes séparément est éliminée. Par conséquent, le coût de la main-d'oeuvre par lampe correspond habituellement à 1/5 ou 1/10 du coût de remplacement à l'unité.

Ce système réduit également le coût des lampes à l'unité si celles-ci sont expédiées dans des emballages pallettisés. Comme elles sont commandées en même temps, elles coûtent moins cher à l'achat. Comparativement aux lots de caisses, les expéditions palettisées facilitent la manutention, en plus de réduire la quantité de matériel d'emballage qui doit être jeté.

b) *plus grande émission de lumière*
L'émission de lumière diminue à mesure que les lampes s'usent. Plus vite elles sont remplacées, meilleur est l'éclairage fourni, sans pour autant augmenter le coût de l'énergie électrique ou le nombre d'appareils d'éclairage. Les gens obtiennent ainsi les conditions d'éclairage pour lesquelles le système a été conçu.

c) *diminution des arrêts de travail*
Le remplacement en série peut être effectué à un moment propice, comme au cours des périodes de vacances ou après les heures de travail, ne nécessitant ainsi aucune interruption des opérations. Les arrêts de travail nécessaires pour signaler le grillage de certaines lampes ou pour les remplacer sont par conséquent beaucoup moins nombreux.

En quoi consiste le remplacement en série
Les ampoules qui grillent indiquent de façon commode le moment où il faut amorcer le remplacement en série. En effet, le nombre d'ampoules grillées dans un lot donné indique en pourcentage la vie moyenne écoulée d'un lot. Par exemple, les lampes à fluorescence ont atteint 70 p. 100 de leur durée moyenne lorsque 10 p. 100 d'entre elles sont grillées, et 80 p. 100 de leur vie moyenne lorsque 18 p. 100 sont grillées au-delà de 80 p. 100, la fréquence à laquelle les ampoules grillent augmente rapidement. Des études semblables sur des lampes à décharge de haute intensité peuvent être effectuées à l'aide des courbes de fin de service disponibles. On peut également consulter un fabricant de lampes: bon nombre peuvent offrir ces renseignements grâce au traitement de données fournies par les usines.

Trois systèmes fondamentaux ont recours à la "courbe de fin de service" pour déterminer la fréquence des remplacements en série:

1. remplacement en série sans remplacement provisoire;
2. remplacement en série avec remplacement provisoire (lampes usagées);
3. remplacement en série avec remplacement provisoire (nouvelles lampes).

Système 2

Dans ce système, on ne tient pas compte des ampoules qui grillent individuellement, jusqu'à ce qu'un nombre suffisant indique qu'un autre remplacement en série s'impose. Par exemple, lorsque 10 lampes dans une installation qui en comprend 100 ont grillé, 70 p. 100 de la vie des lampes s'est écoulée et celles-ci doivent toutes être remplacées.

Ce système est simple et convient parfaitement aux vastes installations où chaque zone est éclairée par plusieurs lampes fluorescentes et où l'aspect du système d'éclairage a peu d'importance. Son principal avantage est que le coût de la main-d'oeuvre se résume en fait au coût du remplacement en série, puisqu'aucune lampe n'est remplacée dans l'intervalle. En règle générale, il est recommandé de

ne pas avoir recours à ce système dans le cas de lampes à ballast à allumage immédiate ou de lampes à ballast à allumage à préchauffage, puisque les lampes grillées demeurant dans les douilles pendant une période prolongée risquent de provoquer la surchauffe des ballasts et de raccourcir ainsi considérablement leur vie.

Le système 1 se limite au remplacement des lampes fluorescentes à des intervalles n'excédant pas 70 p. 100 de leur vie moyenne. De plus, il ne convient pas aux systèmes d'éclairage à source ponctuelle, puisque les claquages isolés atténuent considérablement la diffusion de la lumière.

Système 2

Dans ce système, lorsque toutes les lampes fluorescentes sont remplacées une fois qu'elles ont atteint 80 p. 100 de leur vie moyenne, 20 p. 100 des meilleures lampes fluorescentes qui restent sont mises de côté pour servir de lampes de rechange jusqu'au prochain remplacement en série. Ces lampes doivent être celles dont l'éclairage est le plus intense et, dont les extrémités sont les plus propres. Aussi, au fur et à mesure que des lampes claquent, elles sont remplacées par ce lot de rechange provisoire. Une fois le lot épuisé, c'est signe qu'il est temps d'effectuer le prochain remplacement, en série. L'intervalle requis entre chaque remplacement en série est également un facteur important. Pour des lampes à fluorescence et à décharge de haute intensité, l'intervalle doit s'établir comme suit:

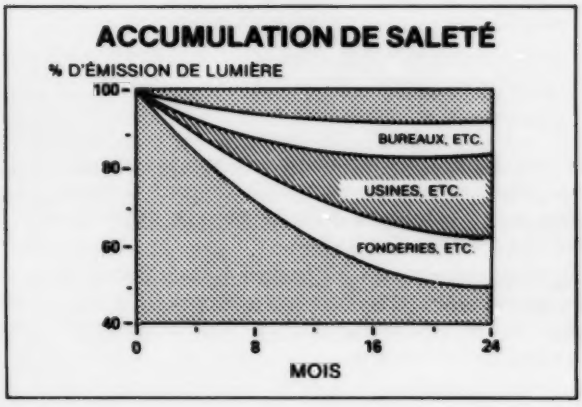
- dans les usines et les immeubles à bureaux où il n'y a qu'une équipe de travail, les lampes brûlent pendant environ 2 500 ou 3 000 heures par année. Si, dans ces conditions, des lampes fluorescentes sont utilisées, un remplacement en série effectué tous les trois ou quatre ans est suffisant et économique. Dans le cas de lampes à vapeur de mercure, l'intervalle doit être de sept à huit ans;
- dans les usines comportant deux équipes de travail, les lampes brûlent pendant environ 4 000 à 4 500 heures par année. Dans le cas de lampes fluorescentes, il est recommandé de les changer tous les deux ou trois ans. Les lampes à vapeur de mercure doivent être remplacées au complet tous les cinq ou six ans. Dans une usine ou il y a trois équipes de travail les lampes doivent brûler pendant 6 500 à 7 500 heures par année. Dans de telles conditions, un changement des lampes fluorescentes tous les deux ans est nécessaire. Toutefois, si des lampes à vapeur de mercure sont utilisées, le changement peut être effectué tous les trois ans. Ce système, prévoyant des rechanges entre les remplacements en série, a l'avantage de garder tous les appareils d'éclairage allumés, mais risque cependant d'être plus coûteux que le système no 1.

Système 3

Cette méthode préconisée depuis peu de temps a été largement acceptée par l'industrie en raison de la hausse continuelle des coûts de la main-d'oeuvre et des pièces de rechange (lampes et ballasts). L'utilisation de nouvelles lampes aux fins de remplacements provisoires diminue l'usure des ballasts et assure un éclairage uniforme permettant des opérations efficaces jusqu'à ce que le moment de remplacer toutes les lampes soit venu. Ce système, doit être pris en considération par la direction parce qu'il protège le ballast, l'élément le plus cher de l'appareil d'éclairage.

Le nettoyage des lampes — voir c'est croire.

Un système d'éclairage nettoyé périodiquement offre de nombreux avantages à l'utilisateur. La poussière et la saleté absorbent une grande partie de la lumière émise par les lampes. Même dans des milieux de travail relativement propres, les niveaux d'éclairage peuvent être augmentés de plus de 50 p. 100 simplement en nettoyant les lampes et les appareils d'éclairage. L'accumulation de poussière et de saleté sur les murs et les plafonds réduit la réflectance réelle de ces curfaces. Et comme il a été mentionné précédemment, un nettoyage périodique ou l'utilisation de couleurs très réfléchissantes accroît de façon appréciable l'efficacité du système d'éclairage.



Il n'est pas surprenant que des appareils d'éclairage propres et des surfaces réfléchissantes améliorent l'aspect général des lieux de travail et encouragent l'adoption de bonnes méthodes d'entretien. Les employés sont sensibles à un entourage propre et sont souvent plus productifs.

Quand nettoyer?

L'intervalle entre les périodes de nettoyage d'un système d'éclairage dépend principalement du degré de propreté (ou de saleté) qui prévaut habituellement dans le secteur. Par exemple, un nettoyage annuel suffit bien souvent aux appareils d'éclairage situés dans un bureau climatisé. Mais dans des secteurs tels, chaînes de montage et ateliers d'ajustage, un nettoyage bi-annuel est habituellement requis. Dans des endroits comme les fonderies,

où les accumulations de saleté sont particulièrement importantes, un nettoyage mensuel peut être nécessaire afin d'assurer un éclairage suffisamment efficace.

Le temps et la main-d'oeuvre nécessaires au nettoyage des systèmes d'éclairage ont augmenté considérablement au cours des dernières années parce que les systèmes sont devenus de plus en plus complexes. Pour un même niveau d'éclairage, les systèmes à fluorescence par exemple, présentent une plus grande surface par appareil d'éclairage et aussi un peu plus grand nombre d'appareils d'éclairage à nettoyer que les systèmes à vapeur de mercure, aux halogènes ou à vapeur de sodium haute pression.

Le nettoyage d'un appareil d'éclairage comporte habituellement toutes les étapes suivantes:

- l'enlèvement et nettoyage des louvres ou des diffuseurs en plastique;
- l'enlèvement et nettoyage des lampes;
- l'installation de plaques de douille pour éviter les chocs;
- le nettoyage du dessus et de l'extérieur de l'appareil d'éclairage;
- le nettoyage de l'intérieur de l'appareil d'éclairage;
- l'enlèvement des plaques de douille (pour permettre la pose d'une nouvelle lampe);
- le remplacement des lampes;
- le remplacement des louvres ou des diffuseurs en plastique.

L'ordre dans lequel les étapes de nettoyage sont exécutées varie quelque peu en fonction du type d'appareil d'éclairage, de la hauteur de montage et de l'équipement d'entretien.

Il est important de noter que les lampes fluorescentes doivent "sécher à l'air". Le fait de les essuyer peut créer une charge statique qui risque de nuire au moment de l'allumage.

ÉTUDES DE CAS

Préchauffage de l'eau de remplacement grâce à un rideau d'air

Exposé de la situation: Les exigences relatives à l'air ambiant dans une usine montréalaise de 250000 pi² et où l'on fabrique des roues de wagons de chemins de fer, stipulaient que plus de 500000 pi³/mn d'air devraient être expulsés à l'extérieur. Ceci créait une pression négative considérable qui, à son tour, engendrait un immense afflux d'air froid à l'intérieur, l'hiver, par des ouvertures telles les portes des plates-formes de chargement. Comme cette situation nuisait aux conditions de travail, les syndicats et le gouvernement exercèrent des pressions pour que la direction prenne les mesures nécessaires pour remédier à la situation.

Mesure prise: La compagnie mit sur pied un système permettant de faire pénétrer un minimum de 500000 pi³/mn d'air de remplacement à l'intérieur et d'utiliser la chaleur propre, dégagée par les appareils, pour préchauffer. Au moyen d'une technique brevetée de "réglage du débit d'air", au moins 40000 MBH provenant du four de traitement thermique furent utilisés pour tempérer l'air d'entrée. Aucun système de conduits, échangeur de chaleur ou dispositif élaboré de récupération ne fut nécessaire. Les seuls appareils utilisés à cette fin ont été des ventilateurs de distribution d'air et des aérateurs orientables (rideaux d'air tangentiels).

Économie d'énergie: Si une autre source de chaleur avait été utilisée, il aurait fallu qu'elle produise un minimum de 40000 MBH pour chauffer les 500 Mpi³/mn d'air d'entrée.

Économie d'argent: Compte tenu de la charge thermique de 8000 degrés-jours dans la région de Montréal et du fonctionnement de l'usine (24 heures par jour et 5 jours par semaine), les économies réalisées représentent environ $150000 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $150000.

Recommandation: Étudier toutes les façons de récupérer la chaleur perdue avant d'opter pour un système quelconque. Le concepteur du système mentionné ci-dessus affirme que, dans des conditions appropriées, les coûts d'un tel système, comparés à ceux d'un système traditionnel de chauffage de l'air frais peuvent être moindres de presque 70 p. 100.

Diminution de la stratification thermique au moyen de ventilateurs de plafond

Exposé de la situation: La société *Leigh Metal Products Limited* de London (Ontario) chauffait son usine de 75000 pi² avec 15 réchauffeurs à gaz à feu nu situés juste au-dessous du toit. Il n'y a pas longtemps encore, les thermostats des réchauffeurs étaient réglés à 31° C afin que la température ambiante atteigne 20° C au niveau du plancher. Après avoir fait des relevés, la société s'est rendu compte que beaucoup de chaleur s'accumulait sous le toit et qu'il y avait une différence de 11° C entre la température du plafond et celle du plancher.

Mesure prise: La société a installé, à titre d'expérience, un grand ventilateur de circulation à pales et en a calculé les effets sur la stratification thermique. Les résultats ont montré une nette amélioration de la distribution de la chaleur et une différence de température entre le plancher et le plafond de 1° C seulement. Par conséquent, neuf autres ventilateurs ont été installés dans divers endroits de l'usine, des régulateurs à fonctionnement continu contrôlant leur mise en marche afin qu'elle coïncide avec les heures de travail. Ces régulateurs contrôlent également les thermostats des brûleurs, ce qui permet d'abaisser les températures la nuit et les fins de semaine.

Économie d'énergie: Les évaluations initiales prévoyant une réduction de 10 p. 100 de la consommation de gaz étaient modérées par rapport aux résultats préliminaires.

Économie d'argent: 10 p. 100 de $20000 (la facture de gaz de 1976 = $2000 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $3410.

Recommandation: Étudier la possibilité d'installer des ventilateurs de recirculation afin de diminuer la stratification thermique dans l'usine ainsi que les factures de chauffage. L'expérience de la société Leigh a montré que les employés peuvent se plaindre si les ventilateurs sont situés directement au-dessus des surfaces de travail. Toutefois, ils ont demandé que les ventilateurs fonctionnent pendant l'été en raison de la fraîcheur procurée par une meilleure circulation de l'air.

Conservation de la chaleur à l'intérieur par la fermeture des ventilateurs aspirants

Exposé de la situation: À l'usine de 125000 pi² de la société *Electrohome's Industrial Products*, située à Cambridge (Ontario), le comité sur la conservation de l'énergie venait à peine d'être mis sur pied lorsque son coordonnateur a décidé de prendre un certain nombre de mesures rapides et simples qui pouvaient être appliquées sans délai et sans frais dans les secteurs consommant le plus d'énergie. La possibilité de fermer pendant l'hiver quelques-uns des ventilateurs aspirants du toit qui servent à circuler l'air et à évacuer les exhalaisons causées par divers procédés fut parmi l'une des premières mesures à être prises en considération.

Mesure prise: Les ventilateurs aspirants situés au-dessus des aires de soudage et de moulage par pression ont été laissés ouverts, mais 14 autres ont été condamnés par la simple fermeture de leur registre. Deux autres sources assuraient le renouvellement de l'air, soit 40 ventilateurs de plafond et d'autres ventilateurs placés dans des cabines d'application par pulvérisation.

Économies à plusieurs points de vue grâce à l'ordinateur

Exposé de la situation: Au *Sheraton Centre Hotel* de Toronto, une vérification des comptes d'électricité par la direction a révélé qu'il était possible de réaliser des économies substantielles grâce à un meilleur contrôle. On s'est penché particulièrement sur la diminution de la demande maximale d'électricité, le maintien de températures élevées dans les compartiments d'air mélangé des appareils de manutention d'air et un contrôle plus efficace des bobines de surtension et des survolteurs.

Mesure prise: On a installé dans l'hôtel un système d'automatisation de la consommation d'énergie fabriqué sur demande et contrôlé par ordinateur afin de diminuer la consommation d'électricité, de vapeur et d'eau. L'ordinateur est programmé en fonction de l'occupation de sorte que lorsque celle-ci est faible ou que les salles de réunions individuelles sont vides, l'éclairage et le chauffage sont coupés ou réduits. Il est également programmé pour déceler les pannes dans les systèmes et pour signaler quand un appareil précis doit être mis au point. Un membre de la section de l'ingénierie a suivi une formation intensive pour apprendre le fonctionnement du système.

Économies d'énergie et d'argent: 20 p. 100 de la consommation = $100 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $200 000, y compris certains travaux de recâblage et de mise au point d'appareils qui s'imposaient.

Recommandation: Pour un grand nombre d'industries, les commandes automatisées peuvent se révéler la solution de l'avenir au problème de la conservation de l'énergie. Tenez-vous au courant des innovations technologiques dans ce domaine.

Contrôle de la température en dehors des heures de travail grâce aux commandes d'un thermostat jumelé

Exposé de la situation: Dans un certain nombre d'usines de la société *Westinghouse Canada* Limitée, qui sont chauffées par des brûleurs à gaz à feu nu, la direction s'est rendu compte qu'elle pouvait réaliser des économies en ayant recours a un système d'abaissement automatique des températures la nuit et les fins de semaine plutôt qu'à un système de commande manuelle du thermostat placé à chaque source de chaleur.

Mesure prise: Depuis lors est installé un circuit de synchronisation dans lequel une minuterie centrale tournant sans arrêt fait fonctionner un "thermostat de nuit" (réglé à 18° C) la fin de semaine et chaque soir de 16h00 à 7h00 le lendemain. Le brûleur est toutefois muni d'un dispositif d'interruption manuel permettant aux préposés à l'entretien ou à une personne faisant du travail supplémentaire de laisser le thermostat contrôlant le brûleur et le ventilateur au réglage de jour. Bien qu'il y ait généralement un thermostat sur chaque étage pour indiquer la température, un employé ne peut l'utiliser pour contrôler le fonctionnement du brûleur à gaz.

Économies d'énergie et d'argent: Elles dépendent des conditions locales.

Coûts des travaux d'amélioration: Minimes.

Recommandation: Les commandes automatiques et synchronisées des systèmes d'éclairage et de chauffage réduisent considérablement la part de l'élément humain dans le contrôle de la conservation de l'énergie et leur amortissement rapide est garanti.

Conservation de la chaleur à l'interieur au moyen de précipitateurs électrostatiques

Exposé de la situation: À l'usine de 91 à 640 pi² de la société *International Harvester* à Candiac (Qué.), quatre ventilateurs de toit de 500 pi³/mn servaient à expulser l'air vicié de l'aire de soudage. La société s'est rendu compte que beaucoup de chaleur était ainsi perdue.

Mesure prise: Elle a installé 12 précipitateurs électrostatiques (880 watts, 2 500 pi³/mn) afin de nettoyer et de filtrer l'air à l'intérieur, ce qui a par le fait même éliminé l'expulsion d'air chaud à l'extérieur.

Économie d'énergie: Étant donné que de septembre à avril, la température extérieure est d'environ 30° F (moyenne de cinq ans), qu'elle est à de 68° F à l'intérieur et que l'usine fonctionne 2 560 heures pendant la période de chauffage, on obtient le résultat suivant:

4 ventilateurs X 5 000 pi³/mn X .018 (chaleur spécifique de l'air) X (68° F - 30° F) X 60 mn X 2,560h = 2.10 MMMBTU par année.

Économie d'argent: 2.10 MMMBtu = 2.10 MMpi³ à $2.00 le Mpi³ = $4 200 par année.

Coût du fonctionnement des ventilateurs aspirants = $452 par année.

Coût du fonctionnement des précipitateurs = $677

Économie nette = $4 200 — (677 - 452) = $3 975 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $25 000.

Recommandation: Étudier la possibilité d'utiliser des précipitateurs électrostatiques afin de permettre la recirculation de l'air dans l'usine et de diminuer ainsi les pertes de chaleur. Un système de précipitation a pour effet d'améliorer le milieu de travail et devrait entrer en ligne de compte dans le processus de prise de décision régissant l'allocation de fonds destinés à la conservation.

Installation d'un système de contrôle de l'enthalpie sur les appareils de climatisation de l'air

Exposé de la situation: Dans un système type de rondelle ouverte, à la société *Dominion Textile* de Sherbrooke (Qué.), l'air de retour du secteur de fabrication, dont la température est de 24° C et l'humidité relative de 32 p. 100, est rafraîchi et déshumidifié. L'énergie retirée de l'air est "H", soit la différence d'enthalpie entre les deux conditions. L'air extérieur est souvent plus frais que l'air de retour.

Mesure prise: Suivant le principe de contrôle de l'enthalpie, on a installé des registres automatiques afin d'expulser l'air de la pièce et de faire pénétrer l'air extérieur lorsque celui-ci était plus frais.

Économie d'énergie: Comme le système de refroidissement fonctionne du 15 avril au 15 octobre, cinq jours par semaine, à l'exception de deux semaines d'arrêt de travail, les résultats sont les suivants:

$$24\ \frac{\text{semaines}}{\text{année}} \times 5\ \frac{\text{jours}}{\text{sem.}} \times 24\ \frac{\text{h}}{\text{jour}} = 2\,900\ \text{h par année}$$

sans contrôle

BTU par 100 000 pi³/mn d'air = $4.5 \times 10^5 \times H \times h$

kWh par 100 000 pi³/mn d'air = $\frac{4.5 \times 10^5 \times H \times .9}{12\,000}$

$= 33.8 \times H \times h$

kwh = 33.8 X (27.1 - 19.1*) X 2 900 = 790 000 kWh par année

avec contrôle

selon les calculs = 320 000 kWh par année

énergie économisée = 470 000 kWh par année

Économie d'argent:

470 000 kWh à raison de $.008 = $3 760 par année

470 000 kWh à raison de $.025 = $11 750 par année

Coût du système de contrôle: $4 000.

Recommandation: Étudier la possibilité d'utiliser un système de contrôle de l'enthalpie afin de diminuer les charges frigorifiques.

*provenant des données météorologiques de Sherbrooke (Qué.).

Isolation du mur d'expansion

Exposé de la situation: À l'usine de la société Canadair à Montréal, un grand mur de 200 pieds de large sur 60 pieds de long et exposé au nord-ouest n'avait jamais été isolé. Fait d'un parement d'amiante ondulé, il avait été construit en prévision d'une expansion possible qui laissait prévoir sa destruction éventuelle ou sa converison en cloison. Au cours de la saison de chauffrage, les nombreuses critiques des employés au sujet des courants d'air et du froid dans l'aire de travail adjacente ne tarissaient pas malgré le fonctionnement continu de trois gros aérothermes.

Mesure prise: Après avoir étudié d'autres types d'isolation, le coordonnateur du comité de conservation de l'énergie de la compagnie opta pour l'application par soufflage d'une laine minérale de deux pouces d'épaisseur, dotée d'un facteur R de .13 et d'excellentes propriétés ignifuges. Ce matériau, qui offrait la meilleure isolation en termes de dollars pour ce genre d'application, fut posé au cours des deux semaines de fermeture annuelle de l'usine, n'occasionnant ainsi aucune interruption de travail.

Économie d'énergie: Les économies prévues équivalent à 36 000 gallons d'huile au cours de la première saison de chauffage.

Économie d'argent: 36 000 gallons à raison de 35¢ le gallon = $12 600 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $22 000.

Recommandation: Étudier la possibilité d'isoler tout mur extérieur de l'usine encore insuffisamment protégé contre les pertes de chaleur. Les projets d'isolation représentent des changements manifestes pour lesquels il est relativement facile d'obtenir l'approbation de la direction et d'établir un dossier sur les travaux accomplis en prévision de programmes plus complexes. N'oubliez pas que l'approbation de l'entreprise qui détient l'assurance-incendie de votre compagnie constitue un important facteur dans le choix d'un matériau isolant parmi tous ceux offerts sur le marché.

L'enlèvement de lampes fluorescentes diminue le coût de l'éclairage

Exposé de la situation: Au Quartier général de la Défense nationale à Ottawa, une étude sur l'éclairage a révélé que les lampes fluorescentes éclairant les 800 000 pi² de l'espace utilisable procuraient des niveaux d'éclairage trop élevés qui atteignaient généralement 120 pieds-bougies. Conformément aux directives gouvernementales, on a décidé de porter les niveaux d'éclairage à 75 pieds-bougies, ce qui a été fait en enlevant 255 tubes fluorescents.

Mesure prise: Suite à un examen des bandes continues de tubes jumelés de 40 watts posées à 42 pouces de distance les unes des autrs, on a choisi la disposition la plus esthétique possible et enlevé les tubes appropriés de toute une moitié d'étage de l'immeuble. Après un mois d'essai, on a distribué

un questionnaire à tous les occupants du secteur aux fins de commentaires. Commes les réponses ont été positives et qu'un grand nombre de personnes trouvaient les niveaux d'éclairage moins pénibles et fatigants pour la vue, on a décidé de modifier l'éclairage de tout l'immeuble. Dans une lettres, tous les occupants ont été informés du but de cette mesure (conservation), des niveaux d'éclairage courants et révisés, et des économies escomptées en termes d'énergie et d'argent. Deux ouvriers à temps partiel ont effectué le travail en neuf semaines. Les lampes ont été enlevées conformément au plan initial, sauf dans les cas où le niveau d'éclairage d'une surface de travail descendait à moins de 70 pieds-bougies. Peu de modifications ont été nécessaires. Les niveaux d'éclairage dans les salles à dessin sont demeurés intacts et les tubes enlevées ont été entreposées pour servir éventuellement de lampes de rechange.

Économie d'énergie: Elle n'a pas encore été évaluée, mais on prévoit qu'elle sera de l'ordre de 5 MMkWh par année moins une augmentation de 19.5 p. 100 du chauffage en raison de la chaleur perdue et normalement générée par les lampes (ce pourcentage est lui-même contrebalancé par une diminution de 27.8 p. 100 de la charge frigorifique l'été).

Économie d'argent: On prévoit qu'elle atteindra le montant net de $80 000 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $5 555.

Recommandation: Étudier la possibilité de diminuer les niveaux d'éclairage dans les bureaux de l'usine. L'enlèvement ou non de tout l'appareil d'éclairage ou des tubes seulement est une question qui mérite d'être considérée avec soin. La Défense nationale a jugé qu'il n'y avait aucune raison d'enlever les ballasts puisque leur consommation énergétique était trop faible et le coût de leur enlèvement trop élevé (de $75 000 à $100 000). Dans un cas semblable il faut choisir soit débrancher les ballasts à même temps d'enlever les tubes, soit accepter le coût de la consommation énergétique des ballasts, ceux qui pourraient influer trop le facteur de puissance de l'usine. Il vaut certes la peine de tenir les employés au courant de changements aussi importants que ceux des niveaux d'éclairage dans les bureaux et de les faire participer à ces changements. À cet égard, la meilleure solution au point de vue des relations avec les employés est d'enlever les appareils d'éclairage et de remplacer les lentilles par des carreaux de plafond.

Remplacement des lampes à incandescence par des lampes fluorescentes

Exposé de la situation: Plus de la moitié de l'usine de la société *Sangamo Limited* à Toronto était éclairée par des lampes à incandescence inefficaces. Outre le problème des niveaux d'éclairage insuffisants (généralement 36 pieds-bougies) dans un grand nombre de secteurs de l'usine, la société constata par elle-même et à l'aide d'une étude détaillée effectuée par un fabricant d'appareils d'éclairage qu'une source de lumière plus efficace entraînerait des économies substantielles d'énergie et de main-d'oeuvre. En raison du plafond de 12 pieds de haut, la possibilité d'utiliser des lampes à vapeur de sodium à haute pression fut écartée.

Mesure prise: Deux cent quatre-vingt treize lampes à incandescence de 300 watts et 74 de 200 watts ont été remplacées par 146 appareils d'éclairage à lampe fluorescente de 8 pieds et de 180 watts et 109 autres appareils d'éclairage à lampe fluorescente de 4 pieds et de 96 watts. Ce projet fut exécuté comme travail d'appoint par les électriciens de l'usine.

Économie d'énergie et d'argent: Même si les niveaux d'éclairage ont augmenté de 45 p. 100 dans l'ensemble, l'utilisation d'appreils plus efficaces à permis d'économiser $6 500 la première année. L'entretien de l'éclairage a aussi diminué considérablement.

Coût des travaux d'amélioration: $12 500.

Recommandation: Considérer la modification de l'éclairage comme l'une des premières mesures de conservation de l'énergie dans une usine. Une telle modification donne des résultats très prévisibles et constitue un signe manifeste de progrès pour tout le monde, y compris les responsables de l'approbation des programmes d'immobilisations. Dans le cas de Sangamo, l'un des principaux avantages découlant de l'amélioration de l'éclairage fut un meilleur contrôle de la qualité dans l'aire de placage. La société étudie actuellement le "remplacement en série" afin de réduire encore davantage les coûts d'entretien: toutes les lampes de l'usine seraient remplacées tous les deux ans.

Les lampes à vapeur de sodium à haute pression sont plus efficaces que les lampes fluorescentes

Exposé de la situation: La Générale électrique du Canada éclairait 15 aires de travail dans l'un de ses vastes bâtiments industriels de Toronto au moyen de 85 appareils d'éclairage à double lampe fluorescente. Ces 168 lampes de 215 watts projetaient sur le plancher de l'usine un trop faible éclairage de 30 pieds-bougies tout en consommant une quantité considérable d'énergie en raison du rendement de la source de lumière.

Mesure prise: On a remplacé les lampes fluorescentes par 28 lampes à vapeur de sodium à haute pression de 400 watts, portant ainsi le niveau d'éclairage au-dessus de 50 pieds-bougies.

Économie d'énergie: Consommation antérieure — 39.5 kW X 8 h par jour X 5 jours par semaine X 50 semaines par année = 79 000 kWh par année.

Consommation actuelle — 13.3 kW X 8 h par jour X 5 jours par semaine X 50 semaines par année = 26 600 kWh par année.
Économie d'énergie — 52 400 kWh par année.

Économie d'argent: Diminution de la consommation $0.025 le kWh = $1 310.00 par année
Diminution des primes = $1 370.00 par année
Total $2 680.00 par année

Coût des travaux d'amélioration: $7500 (voir ci-dessous).

Recommandation: Chercher quelle source d'éclairage est la plus efficace en terme d'énergie pour l'usine ou le bureau. Basée sur une analyse simpliste, la période d'amortissement de l'investissement mentionné ci-dessus aurait excédé deux ans et, par conséquent, aurait probablement présenté peu d'intérêt aux yeux de certaines compagnies. de toute façon, une analyse du taux de rentabilité de l'investissement par la méthode du rendement effectif constitue un moyen plus complet de mesurer la valeur d'un investissement donné. Dans le cas des améliorations de l'éclairage, l'analyse, pour être valable, doit tenir compte non seulement des économies d'énergie, mais également de l'augmentation des niveaux d'éclairage et de ses répercussions possibles, comme la hausse de la productivité des employés.

Chauffage de l'eau dans un restaurant par l'intermédiaire du système d'air climatisé

Exposé de la situation: Les grands utilisateurs d'eau chaude devraient être en mesure de récupérer la chaleur générée par les systèmes d'air conditionné du bâtiment. C'est dans un restaurant ouvert 24 heures par jour et associé à une installation de traitement alimentaire que l'on a mis ce principe à l'épreuve.

Mesure prise: On a choisi un compresseur de 15 tonnes comme source de chaleur et un échangeur de chaleur à double tube pour transférer la chaleur de compression du gaz réfrigérant chauffé à l'eau. Le gaz chauffé circulait dans le tube extérieur de l'échangeur et l'eau dans le tube intérieur. La partie contenant de l'eau a été jointe à un réservoir de préchauffage de 176 gallons par une boucle de tuyauterie. L'eau circulait à travers la boucle au moyen d'une pompe. Ce réservoir de préchauffage était relié à l'orifice d'admission du réchauffeur d'eau électrique. La pompe appropriée faisait circuler l'eau entre le réchauffeur et le réservoir de stockage, maintenant ainsi la même température dans les deux appareils. Simultanément, l'autre pompe faisait circuler l'eau entre l'échangeur de chaleur et le réservoir de préchauffage afin de maintenir une température élevée dans celui-ci. Lorsque l'eau chaude était retirée du réservoir de stockage pour être utilisée, l'eau chaude du réchauffeur le remplissait à nouveau. L'eau froide du réseau de distribution de la ville remplaçait l'eau chaude une fois celle-ci évacuée du système d'eau chaude.

Économie d'énergie: Dans un restaurant, où la saison d'air climatisé dure environ huit mois, des calculs ont montré que le système de récupération de la chaleur fournit 49 p. 100 de la chaleur nécessaire pour chauffer l'eau pendant l'année, soit 61 900 kWh.

Économie d'argent: Si un kWh coûte $.025 (61 900) ($.025) = $1 547 par année.

Coût des travaux d'amélioration: Les coûts d'immobilisation, de main-d'oeuvre et d'installation se sont chiffrés à $2 370 (1962).

Recommandation: En fait, toute installation utilisant beaucoup d'eau chaude peut bénéficier d'un système qui récupère la chaleur perdue par les appareils d'air climatisé.

Éclairage accru grâce à la combinaison de lampes à incandescence et de lampes à vapeur de sodium à haute pression

Exposé de la situation: La forge de l'usine de la société *International Harvester Limited* à Hamilton était éclairée de façon inadéquate (de 5 à 10 pieds-bougies en moyenne) au moyen de la combinaison suivante de lampes à incadescence, fluorescentes et à vapeur de mercure:

Avant	Charge	
(120)	lampes à incadescence de 300 W	= 36.00 kW
(40)	lampes à incadescence de 500 W	= 20.00 kW
(25)	doubles tubes fluorescents de 4' et de 94 W	= 2.35 kW
(92)	doubles tubes fluorescents de 8' et de 174 W	= 16.01 kW
(25)	lampes à vapeur de mercure de 460 W	= 11.50 kW
Total		85.86 kW

La puissance des lampes comprend celle des ballasts.

Mesure prise: La société installa la combinaison suivante de lampes fluorescentes et à vapeur de sodium à haute pression:

Après		Charge
(88)	lampes à vapeur de sodium à haute pression de 470 W	= 41.36 kW
(40)	doubles tubes fluorescents de 8' et de 174 W	= 6.96 kW
Total		48.32 kW

La puissance des lampes comprend celle des ballasts.

La combinaison de ces deux types de lampe diminua la consommation d'électricité et accrut le niveau d'éclairage de 300 p. 100, portant ainsi la moyenne de

15 à 40 pieds-bougies. On utilisa les tubes fluorescents pour fournir un éclairage d'appoint de faible puissance et, dans certains cas, pour procurer de la lumière en attendant le réamorçage des autres lampes après une panne. Les lampes à vapeur de sodium à haute pression mettent près de 10 minutes à se réamorcer.

Économie d'énergie: Diminution de la consommation de kW = 85.86 — 48.32 = 37.54 kW. Utilisation = 267 jours X 24 heures = 6 400 heures par année.

Économie d'argent: Prime — (37.54 kW) ($3.60 kW / mois) (12 mois) = $1 621.73 par année.

Consommation — (37.54 kW) ($.0105 le kWh) (6 400 heures par année) = $2 522.69 par année.

Total des économies par année = $4 144.42

Coût des travaux d'amélioration: $38 000, y compris l'enlèvement des appareils d'éclairage existants, le recâblage des panneaux, l'installation de nouveaux panneaux, lampes, appareils d'éclairage et toute la main-d'oeuvre.

Recommandation: Étudier la possibilité d'utiliser des lampes à vapeur de sodium à haute pression conjointement avec des lampes fluorescentes comme éclairage d'appoint afin d'accroître l'éclairage et de diminuer la consommation d'électricité. S'il faut des lampes fluorescentes ou à incandescence, ou encore d'autres formes d'éclairage, pour éviter dix minutes d'obscurité totale après les pannes d'électricité, songer à utiliser un relais qui ferme ces lumières une fois que les lampes à vapeur de sodium se remettent à fonctionner. Ces relais ne coûtent pas cher, se trouvent facilement et entraîneront de réelles économies d'argent.

Amélioration de l'éclairage grâce à l'application de couleur pâle au plafond

Exposé de la situation: Après 20 ans, le toit de métal ondulé de l'usine de la société *Leigh Metal Products* à London (Ont.) était rouillé à l'intérieur. La société décida de le repeindre avec de l'antirouille en attendant de le remplacer complètement. Elle était également consciente que l'éclairage aux lampes fluorescentes pouvait être amélioré.

Mesure prise: Les ingénieurs de l'usine décidèrent de peindre d'une couleur pâle la surface de 80 000 pi² du toit afin de procurer une meilleure réflectance.

Économie d'énergie: Aucune comme tel. Toutefois, des calculs ont montré une augmentation de 10 p. 100 du niveau d'éclairage dans l'usine.

Économie d'argent: L'installation d'appareils d'éclairage en vue d'augmenter la lumière aurait entraîné des coûts importants.

Coût des travaux d'amélioration: Nul.

Recommandation: Étudier la possibilité d'appliquer des revêtements de couleur pâle sur les planchers, les murs et les plafonds. Le nettoyage régulier des ampoules, des tubes et des appareils d'éclairage améliore aussi grandement l'efficacité lumineuse.

L'abaissement de la température diminue la charge thermique

Exposé de la situation: Dans une usine américaine fabriquant des housses et fonctionnant huit heures par jour et cinq jours par semaine, la direction s'est rendu compte qu'il était possible de réaliser des économies en maintenant la température à 68° F pendant les heures de travail et en la diminuant au plus bas niveau possible le reste du temps. L'usine comprend un immeuble à bureaux de 4 800 pi² rattaché à un bâtiment de production de 100 000 pi². Tous deux sont chauffés à l'électricité.

Mesure prise: Le thermostat a été réglé à 68° F durant les heures de travail, nécessitant ainsi le recours à l'éclairage pour obtenir de la chaleur supplémentaire par temps extrêmement froid l'hiver (la température extérieure au cours de la période de chauffage est de 53° F en moyenne). La température des locaux a été maintenue à 58° F en dehors des heures de travail, ce qui a aussi nécessité de l'utilisation de l'éclairage comme chauffage d'appoint.

Économie d'argent et d'énergie: 4 175 MMBTU par année et 10 437 par année à raison de $0,025 le kWh (pouvoir d'achat) selon les calculs suivants:

Heures totales de chauffage = 258 jours par année X 24 heures par jour = 6 192 heures par année.

Heures chômées = 258 jours par année X 1 semaine ou 7 hours X (168 - 40 heures par semaine) + 4 jours de congé X 24 heures par jour = 4 813 heures par année.

Heures de travail = 6 192 heures par année — 4 813 heures par année = 1 379 heures par année.

Énergie requise pour maintenir la température à 68° F pendant toute la saison de chauffage;
Énergie requise pour chauffer pendant l'année:
533 590 BTU/h X 6 192 heures par année = 3 300 MMBTU par année.

Énergie requise par le programme de diminution du chauffage;
Pendant les heures de travail = 533 590 BTU/h X 1 379 heures par année = 736 MMBTU par année.

En dehors des heures de travail = (58-53)° F/(68-53)° F X 533 590 BTU/h X 4 813 heures par année = 856 MMBTU par année.

Total de l'énergie requise = 736 MMBTU par année + 856 MMBTU par année = 1 592 MMBTU par année.

Chaleur économisée chaque saison = (3 300 - 1592) MMBTU par année = 1 708 MMBTU par année.

Électricité économisée = 1 708 MMBTU par année X 1 kWh/3 412 BTU = 500 586 kWh par année.

Éclairage supplémentaire requise = 686 heures par année X $\frac{500\ 586}{6192}$ kW = 686 heures par année X 81 kWh = 55 566 kWh par année.

Économie nette d'électricité = (500 586 - 55 566) kWh par année = 445 020 kWh par année.

Si l'installation utilise 10 000 BTU de combustible par kWh.
Économie d'énergie annuelle = 445 020 kWh par année X 10 000 BTU par kWh = 4 450 MMBTU par année.

Économie annuelle d'argent = 445 020 kWh par année X $0,025 le kWh = $11 125 par année (pouvoir d'achat).

Coût des travaux d'amélioration: Nul.

Recommandation: Maintenir la température à 68° F le jour et au plus bas niveau possible en dehors des heures de travail.

Diminution de la consommation et des pertes de chaleur grâce à l'installation de nombreux ventilateurs

Exposé de la situation: La direction de l'usine de la société *International Harvester* à Candiac (Qué.) constata que la chaleur était stratifiée dans l'usine et que si un courant d'air descendant pouvait être créée, l'air chaud du plafond serait poussé vers le plancher, diminuant ainsi la différence de température dans l'usine (78° F au plafond et 68° F au plancher), de même que la charge thermique et la consommation énergétique. L'usine est chauffée au moyen d'aérothermes à gaz à feu direct dont la charge est de 9.82 MMMBTU par année.

Mesure prise: Quarante-sept ventilateurs à vitesse variable (0.280 tours-minute) de 56 pouces de diamètre consommant 85 watts à pleine vitesse et produisant 18 500 pi^3/mn d'air furent installés autour de l'usine, d'une superficie 91 640 pi^2. La température du plafond fut abaissée de 5° F, permettant ainsi d'abaisser le thermostat de 5° F lors de l'utilisation des ventilateurs.

Économies d'énergie: Selon le *ASHRAE Handbook*, pour chaque degré F en moins, la consommation de combustible diminue de 3 p. 100.

Économie: 5° F X 3% par °F X 9.82 MMBTU par année = 1.5MMBTU par année.

Économie d'argent: 1.5 MMBTU par année = 1.5 $MMpi^3$ par année au prix de $2.00 le Mpi^3 = $3 000. Coût d'exploitation des ventilateurs = 47 X .085 kW X $.025/kWh X 3 840 heures = $384 par année. Économie nette = 3 000 - 384 = $2 616 par année.

Coût des travaux d'amélioration: $14 500.

Recommandation: Étudier la possibilité d'utiliser des ventilateurs de plafond pour éliminer la différence de température et diminuer la consommation énergétique. Il est bon de se rappeler que grâce à des températures moins élevées au plafond, la chaleur perdue par les ventilateurs aspirants du toit et le toit lui-même se trouve réduite.

Remplacement des lampes à incandescence par les lampes aux halogénures

Exposé de la situation: À l'origine, 48 lampes de 500 watts éclairaient l'atelier de galvanisation et de boulonnerie de l'usine de la *Manitoba Bridge and Engineering* à Winnipeg, qui mesure 19 pi de haut sur 320 pi sur 56 pi. L'objectif principal du changement du système d'éclairage dans l'usine était d'améliorer les niveaux d'éclairage sans augmenter le coût de l'énergie ni entraîner des dépenses aux fins de câblages supplémentaires.

Mesure prise: Au moyen d'une source d'éclairage aux halogénures plus efficace, un entrepreneur remplaça chacune des lampes à incadescence de 500 watts par une lampe aux halogénures consommant environ 460 watts d'énergie électrique. L'éclairage fut amélioré d'environ 300 p. 100, la moyenne passant dans l'usine de 15 pieds-bougies à 50 pieds-bougies.

Économie d'énergie: Minime; toutefois, les niveaux d'éclairage augmentèrent considérablement et la consommation d'énergie diminua d'environ 2 kW.

Économie d'argent: Si l'usine fonctionne 80 heures par semaine et 48 semaines par année; 80 X 48 X 2 = 7 680 kWh au prix de 2.5¢ le kWh = $192 par année.

Coût des travaux d'amélioration: Pas disponible.

Recommandation: Étudier la possibilité d'utiliser des sources d'éclairage plus efficaces afin d'améliorer ou de maintenir les niveaux d'éclairage existants tout en diminuant la consommation d'énergie électrique. Lorsque l'installation de nouveaux appareils d'éclairage ne peut se justifier économiquement, penser à utiliser des ampoules plus efficaces qui peuvent être fixées aux appareils existants.

Chauffage des locaux au moyen de la chaleur d'échappement d'une étuve

Exposé de la situation: Une étude portant sur une étuve d'une usine américaine a montré qu'une importante quantité de chaleur se perdait lors de l'expulsion des 10 000 pi^3/mn d'air porté à une température de 300° F. Il a été décidé que cette chaleur servirait principalement à chauffer les locaux de l'usine.

Mesure prise: Afin de récupérer la chaleur d'échappement de l'étuve, la direction a choisi un échangeur rotatif d'une capacité de récupération de 78 p. 100. L'air ambiant de l'extérieur est en moyenne de 39° F.

Économie d'argent et d'énergie:
Chaleur récupérée = 10 000 pi³/mn X 0.0763 lb/pi³ X .24 BTU/lb ° F X 0.78 X (300 — 39)° F X 60 mn/h = 2.24 MMBTU par heure.

Si un appareil de chauffage à gaz naturel d'un rendement de 70 p. 100 avait été utilisé pour fournir la même quantité de chaleur au cours de l'année, qui comporte en moyenne 6 588 degrés-jours, le combustible requis annuellement aurait équivalu à: 2.24 MMBTU/h X 8 heures par jour X 6 588 X 1/(65 — 39)° F X 1/0.70 = 6 490 MMBTU par année.

Le prix du combustible étant de $2 le MMBTU, l'économie annuelle = 6 490 MMBTU par année = $12 980 par année.

L'utilisation d'un échangeur rotatif élimine le coût du combustible, mais nécessite de l'énergie pour faire fonctionner le ventilateur.

Si le ventilateur nécessite 4 HP au prix de /.025 le kWh, le coût de l'énergie requise = 4 HP X 0.746 kW/HP X 8 heures par jour X 6 588 ° F jours par année X 1/(65-39) X $.025 kWh = $151 par année.

Économie annuelle d'argent = $12 980 — $151 par année = $12 829 par année.

Coût des travaux d'amélioration: Évalue à $10 000 (en 1977).

Recommandation: Étudier la possibilité de récupérer la chaleur des courants d'air chaud aspiré pour le chauffage des locaux et d'autres fins. Ces systèmes peuvent souvent éliminer le besoin d'aérothermes ou être utilisés pour préchauffer l'air pénétrant dans l'étuve.

Remplacement du système de chauffage à la vapeur par un système de chauffage rayonnant

Exposé de la situation: Le chauffage de l'usine de la Générale électrique du Canada à Scarborough (Ont.) était assuré par un système à la vapeur utilisant du mazout lourd "C" comme combustible.
Des radiateurs chauffaient les bureaux, répartis sur deux étages et couvrant 70 000 pi², tandis que des appareils à air soufflé chauffaient l'aire de fabrication, d'une superficie de 240 000 pi² (la hauteur des plafonds variant de 25 à 75 pieds). La direction de l'usine se rendit compte que la vapeur ne constituait plus un élément important dans les traitements (n'étant nécessaire qu'une semaine par année environ) et que sur le plan économique, le système de chauffage à la vapeur et la distribution de la chaleur partout dans l'usine étaient inacceptables. Sans compter qu'il fallait cinq mécaniciens permanents pour assurer le fonctionnement du système.

Mesure prise: Le système de chauffage des bureaux fut converti en système à eau chaude chauffée au gaz et celui de l'usine fut remplacé par des appareils de chauffage au gaz à rayons infrarouges de haute intensité posés au plafond. De plus, seuls une chaudière et un mécanicien permanent furent conservés pour faire fonctionner le nouveau système.

Économie d'énergie: Consommation du mazout lourd "C": 456 000 gallons à raison de 180 000 BTU par gallon = 82 MMMBTU par année. Consommation de gaz naturel: 40 000 Mpi³ à raison de 1 000 000 BTU par Mpi³ = 40 MMMBTU par année. Économie = 42 MMMBTU par année.

Économie d'argent: 42 MMMBTU par année à raison de $2 le Mpi³ = $84 000 par année.
La diminution de la consommation d'électricité au moyen des appareils à air souffle (250 000 kWh par année) ainsi que celle de la consommation d'eau (1MM gallon par année) et du nombre d'employés entraînèrent des économies supplémentaires.

Coût des travaux d'amélioration: $300 000. Au moment de la conversion, ce chiffre représentait une période d'amortissement d'un an et demi.

Recommandation: Ne pas négliger de prendre en considération l'installation d'un système de chauffage par rayonnement comme solution de rechange à des systèmes désuets.

Une étude entraîne la diminution des niveaux d'éclairage à l'extérieur

Exposé de la situation: La direction d'un centre commercial américain de 83 acres (dont les problèmes d'éclairage extérieur sont en grande partie les mêmes que ceux des usines) s'intéressait à la question des niveaux d'éclairage à l'extérieur et à leur conséquence sur la consommation d'électricité.

Mesure prise: Une étude approfondie sur les exigences en matière d'éclairage fut effectuée, particulièrement sur des facteurs comme la distribution des lumières, le nombre de lampes branchées à des minuteries ou à des cellules photo-électriques ou encore individuellement, deux par deux ou en groupes. Suite à cette étude, seulement 1 401 des 2 250 lumières utilisées antérieurement servent encore. Elles donnent un niveau d'éclairage suffisant, mais non uniforme. Les niveaux d'éclairage du terrain de stationnement ne peuvent dépasser deux pieds-bougies.

Économie d'énergie: 56 600 kWh par mois X 12 mois = 679 200 kWh par année.

Économie d'argent: 679 200 kWh à $.025 le kWh = $16 980 par année.

Recommandation: Analyser les niveaux d'éclairage extérieurs afin de déterminer si des lumières peuvent être supprimées ou reprogrammées tout en assurant des niveaux d'éclairage suffisants et sûrs. Si les lumières extérieures ne sont pas encore reliées à des cellules photo-électriques ou à des minuteries,

porter une attention particulière à cette possibilité qui peut réduire considérablement la consommation d'énergie.

Conservation de l'énergie grâce au contrôle de l'éclairage dans un entrepôt

Exposé de la situation: Un entrepôt de 18 000 pi² de la société *3M Canada Limited* est éclairé par 48 lampes fluorescentes à très haute intensité mesurant 8 pieds et consommant 21.6 kW. Le taux d'occupation de l'entrepôt est très bas. À titre d'exemple, un chariot-élévateur y entre 20 fois par jour pour une durée de cinq minutes chaque fois.

Mesure prise: Une étude de l'endroit a montré qu'il n'était occupé que 1.7 heure par jour. Suite à cette étude, on a installé un interrupteur à câble à chaque entrée et une minuterie réglée pour dix minutes pour contrôler le temps d'ouverture de 45 des 48 lumières.

Économie d'énergie: 45 X .45 kW X (24 - 3.3) heures X 250 jours = 104 793 kWh par année.

Économie d'argent: Consommation - 104 793 X $.01 = $1 048.00 par année.

Prime — 45 X .45 kW X $2.25 X 12 mois	= $546.00 par année
TOTAL	= $1 594.00 par année

Coût des travaux d'amélioration: $2 500.

Recommandation: Les contrôles automatiques sont tout indiqués dans les endroits peu fréquentés; ils permettent d'économiser de l'énergie là où l'indifférence ou la négligence empêchent souvent de le faire.

Comme les lumières sont éteintes la plupart du temps, elles durent deux fois plus longtemps.

Économies d'énergie au moyen de minuteries incorporées aux ventilateurs des systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation de l'air

Exposé de la situation: À l'établissement de la société 3M Canada à London, environ 130 000 pi³/mn d'air sont déplacés par les ventilateurs aspirants des salles de toilette, de la cuisine et de l'usine, et par des ventilateurs de distribution et de retour d'air de l'immeuble à bureaux. Comme les aires desservies par ces ventilateurs sont inoccupées la nuit et les fins de semaine, le fonctionnement continu de ces derniers entraîne un gaspillage d'énergie.

Mesure prise: Des minuteries réglées pour sept jours ont été installées sur les ventilateurs, chacune étant programmée pour contrôler le temps de fonctionnement requis des divers ventilateurs.

Économie d'énergie: 52 000 gallons d'huile par année ou 9 300 Mpi³ de gaz par année, ainsi qu'une quantité considérable d'énergie électrique en raison de la diminution du temps de fonctionnement des refroidisseurs pendant les mois d'été.

Économie d'argent: $14 400 par année ou $16 000 par année en tenant compte de l'économie d'énergie électrique.

Recommandation: Le système de contrôle du fonctionnement par des minuteries réglées pour sept jours convient aux ventilateurs aspirants ou de climatisation de l'air desservant des secteurs inoccupés pendant des périodes régulières, car il permet de supprimer les charges thermiques et frigorifiques lorsque celles-ci ne sont pas essentielles au confort des employés.

L'extinction des lumières de l'usine pendant la pause repas réduit la consommation d'énergie

Exposé de la situation: Une compagnie dont les factures d'électricité augmentaient sans cesse, décida de maximiser le rendement de l'éclairage en éteignant les lumières dans l'usine pendant l'heure de la pause repas. On se demandait toutefois si l'économie d'électricité réalisée grâce à l'extinction de 1 000 ampoules fluorescentes de 100 watts ne serait pas dépassée par les coûts imputables à la diminution de la durée des lampes.

Mesure prise: On effectua une étude détaillée qui montra que le programme proposé permettait d'économiser énergie et argent. L'entreprise prit donc l'habitude de fermer les lumières de l'usine pendant l'absence des employés lors de la pause repas.

Économie d'énergie et d'argent: L'économie totale d'argent (énergie — coût supplémentaire de remplacement) = $548 par année.
Le coût de l'électricite étant évalué à $.02 le kWh, le coût de la main-d'oeuvre à $2 par lampe, et le coût unitaire des lampes à $2.95, les calculs furent effectués comme suit:
économie d'énergie = 1 heure par jour X 250 jours par année X 1 000 lampes X 120 watts = 1 000 watts par kW = 30 000 kWh par année.

S'il faut 10 000 BTU pour produire 1 kWh; l'économie d'énergie = 300 MMBTU par année, economie d'argent = 30 000 kWh par année X $0.02 le kWh = $600 par année.
Le coût quotidient du remplacement d'une lampe est calculé de la façon suivante: $(P+h)\ (C_1 + C_2)/L$

P = le coût de remplacement d'une lampe
h = le coût de la main-d'oeuvre pour remplacer une lampe

L = la durée moyenne d'une lampe pour une période de fonctionnement de trois heures
P = le coût de remplacement d'une lampe
h = le coût de la main-d'oeuvre pour remplacer une lampe
L = la durée moyenne d'une lampe pour une (période de fonctionnement de trois heures)
C_1C_2 = les heures de la vie moyenne d'une lampe écoulées après chaque période de fonctionnement quotidien (heures/période de fonctionnement)

Si les lampes brûlent sans arrêt pendant 10 heures, y compris l'heure du repas, $C_1 = 10$ et $C_2 = 0$
Coût de remplacement = (2.95 + 2.00) (10 + 0)/17 000 heures — $.0029 par lampe-heure = $.0029 par lampe-heure X 1 000 lampes X 250 jours par année X 1 heure par jour = $725 par année.

Si les lampes brûlent pendant 4.5 heures (C_1 - 4.5), sont éteintes pendant 1 heure, puis brûlent de nouveau pendant 4.5 heures (C_2 - 4.5), le coût de remplacement = (2.95 + 2.00) (4.5 + 4.5)/ 12 000 heures = $.0037 par lampe-heure = $.0037 par lampe-heure X 1 000 lampes X 250 jours par année X 1 heure par jour = $925 par année.

Le coût supplémentaire de remplacement est donc le suivant: $925 - $725 = $200 par année.

Économie totale d'argent (énergie - coût supplémentaire de remplacement) = $600 - $200 = $400 par année.

Coût des travaux d'amélioration: Nul

Recommandation: Avant d'éteindre les lumières dans une usine pendant des périodes courtes, mais régulières, calculer les économies nettes que l'on peut réaliser en tenant compte de la durée quelque peu réduite des lampes.

L'extinction des lumières permet d'économiser de l'énergie et des tubes fluorescents

Exposé de la situation: Une usine américaine de plus de 100 000 pi² était éclairée par un total de 2 200 lampes fluorescentes mesurant huit pieds chacune (110 watts par lampe, plus 10 watts par ballast). La pratique courante était de laisser toutes les lampes brûler du lundi au vendredi, 24 heures par jour et 50 semaines par année. La direction se rendait compte que les économies d'énergie pouvaient être considérables si les lumières étaient éteintes pendant les heures de fermeture de l'usine, mais était désireuse de connaître quel niveau ces économies pouvaient effectivement atteindre.

Mesure prise: On a mis sur pied un programme d'éclairage destiné aux heures de fermeture, programme suivant lequel l'éclairage fourni ne devait servir qu'aux fins d'entretien et de sécurité. Par la suppression de toutes les lumières inutiles, on arrivait au même résultat que si toutes les lampes avaient fonctionné 10 heures par jour et 250 jours par année.

Économie d'argent et d'énergie: L'économie d'énergie était évaluée à $18 480 par année, et la diminution du coût de remplacement des lampes à $710. Économie totale = $19 190 par année. Ces prévisions étaient calculées comme suit:
économie annuelle d'énergie = (24-10) heures par jour X 250 jours par année X 120 watts par lampe X 2 200 lampes = 924 000 kWh par année.

Le coût de l'électricité étant de $0,02 le kWh, économie annuelle d'argent = 924 000 kWh par année X $0,02 le kWh = $18 480 par année.
Coût annuel de remplacement = (P + h) X (Cd/L) X n

P= le prix d'une lampe de rechange
h= le coût de la main-d'oeuvre pour remplacer les lampes
C= les heures de vie moyenne d'une lampe les heures de vie moyenne d'une lampe écoulées après chaque période de fonctionnement (heures de fonctionnement), comme évaluées dans la figure 1
d= nombre de périodes de fonctionnement par année
L= la durée moyenne d'une lampe à partir d'un nombre déterminé d'heures de fonctionnement.
n= le nombre de lampes

Dans le cas présent, le coût de la main-d'oeuvre (h) est de $2.00, le prix (P) d'une lampe de rechange de $1.42, et la vie moyenne (L) un lampe fonctionnant 10 heures et 18 heures est de 17 000 et 20 000 heures respectivement. Comme il a été mentionné précédemment, les lampes sont au nombre (n) de 2 200.
L'ancien programme comprenait 5 jours X 24 heures = 120 heures par période de fonctionnement; C équivalait à environ 60 heures. Le nombre de périodes de fonctionnement par année (d) était de 50.
Remplacement = ($2.00 + $1.42) par lampe X 120 heures par période X 50 périodes X 2 200 lampes/ 20 000 heures = $2 260 par année.
Le nouveau programme comprend 250 périodes de 10 heures chacune; C équivaut à 7.5 heures.
Remplacement = ($2.00 + $1.42) par lampe X 7.5 heures par période X 250 périodes X 2 200 lampes/ 12 000 heures = $1 170 par année.
Économie totale annuelle = $18 480 + $710 = $19 190 par année.

Recommandation: L'extinction des lumières pendant les heures de fermeture de l'usine est un moyen manifeste d'économiser de l'argent. Cependant, afin d'accroître la motivation, il est souvent utile d'être en mesure d'informer à la fois la haute direction et les employés des économies escomptées grâce à cette initiative. Des prévisions réalistes aident à vendre le programme à l'avance et rendent les employés encore plus fiers de participer aux programmes de conservation de l'énergie.

La réfection du toit au moyen d'uréthane soufflé réduit les pertes de chaleur

Exposé de la situation: L'usine de la société *Sangamo Limited* à Toronto est constituée d'anciens bâtiments industriels munis à la fois d'une toiture à redents ainsi que de conduits et de tuyaux de chaleur et de vapeur situés à proximité du toit. Devant la nécessité de remplacer l'ancien toit, le comité de la conservation de l'énergie de la société a decidé d'examiner des solutions de rechange à la combinaison antérieure de goudron, d'asphalte et de matériau à toiture en rouleau.

Mesure prise: Il était décidé de mettre en application un programme par étapes (échelonné sur plusieurs années) afin de remplacer le toit existant avec de l'uréthane soufflé recouvert d'un revêtement de caoutchouc de silicone. L'épaisseur de l'uréthane destiné à recouvrir des sections particulières de l'usine était choisie à partir de mesures et de calculs détaillés. En général; la société a posé de l'uréthane de 1 po sur les madriers de 2 po sur 4 po et un isolant de 1½ po d'épaisseur sur les planches de 1 po du toit. L'isolant plus épais augment a le coût d'environ 5 p. 100. Dans l'ensemble, le facteur R des deux matériaux était de 17.

Économie d'énergie et d'argent: Même si seulement 10 p. 100 des 189 000 pi² du toit était terminé la première année, pendant un hiver qui était de 40 p. 100 plus froid que la normale et aussi, en ce temps là, quand le prix du gaz a été augmenté de 15 p. 100, les factures de chauffage et la consommation de gaz nécessaire à la production de vapeur pour chauffer l'usine ont diminué au cours de la première année.

Coût des travaux d'amélioration: Une fois terminés, environ $500 000.

Recommandation: Lorsque, après 20 ou 25 ans, vient le temps de remplacer le toit d'une usine, étudier la possibilité d'installer de l'uréthane et d'autres nouveaux composés qui peuvent diminuer considérablement les pertes de chaleur par le toit. Un conseiller technique ou un entrepreneur de toiture vous aidera à choisir le type et l'épaisseur requis de matériau isolant. Si le facteur (R) de l'isolant placé au-dessus des secteurs de l'usine générant de la chaleur est trop élevé, il risque d'accroître les besoins de ventilation et de diminuer les économies globales d'énergie.

La diminution de la ventilation dans les mines économise l'énergie

Exposé de la situation: À la mine de la société *Inco Limited* située à Gasron près de Sudbury, le comité local de l'énergie constata qu'il était possible d'économiser de l'électricité et du gaz naturel en diminuant la ventilation dans la mine les fins de semaine, lorsque les appareils actionnés au diesel ne sont pas utilisés sous terre.

Mesure prise: Après un examen attentif des effets de la diminution de la ventilation, un programme de fermeture à la fois des ventilateurs de distribution et d'aspiration d'air les fins de semaine fut mis en application, entraînant l'arrêt de moteurs électriques de ventilateurs d'une puissance de 850 HP au total. Comme l'air frais d'appoint doit être chauffé en hiver, la diminution de la consommation de gaz naturel nécessaire pour chauffer cet air entraîna des économies supplémentaires.

Économie d'énergie: Électricité: 1 400 000 kWh par année. Gaz naturel: 10 000 Mpi³ par année.

Économie d'argent: 1 400 000 au prix de 2.5¢ le kWh = $35 000. 10 000Mpi³ au prix de $2.00 le Mpi³ = $20 000. Total = $55 000 par année.

Coût des travaux d'amélioration: Nul. Il fallut simplement un programme délimitant clairement les responsabilités en matière de fermeture des ventilateurs.

Recommandation: Essayer d'adapter l'idée dont fait l'objet l'exemple ci-dessus dans une usine. Une ventilation inutile peut gaspiller une part importante de la chaleur de l'usine. S'assurer toutefois qu'un tel changement ne nuira pas au milieu de travail.

La pose d'un système de chauffage à treillis métallique diminue les factures de chauffage et les coûts d'installation

Exposé de la situation: Lorsque la direction de la société *Phillips Cables Limited* fit construire une nouvelle usine à Rimouski (Qué.) il y a plus de 10 ans, elle opta pour un système de chauffage nouveau à l'époque. Un courant de basse tension passant dans le treillis métallique du plancher de béton y générait une chaleur rayonnante en dehors des périodes de pointe. Comme il s'agissait d'un prototype, des détecteurs furent placés à des points précis à l'intérieur et à l'extérieur de l'usine afin d'enregistrer les températures (voir le tableau). La surface de l'usine est de 31 600 pi², son volume de 620 000 pi³ et elle est faite de blocs de ciment. Dans la région de Rimouski, le nombre de degrés-jours est en moyenne de 9 700 par année.

Mesure prise: En raison de l'importante source d'énergie électrique requise pour faire fonctionner l'usine, la compagnie fut en mesure d'installer un système de chauffage électrique à treillis métallique dans lequel une puissance d'entrée de 24 volts traverse les tiges de cuivre soudées aux barres d'armature et branchées aux secondaires de transformateur. Une charge de 10 watts est fournie et quatre thermostats situés autour de l'usine contrôlent la température. De même que les autres

charges électriques dans l'usine, le système est contrôlé par un système de contrôle de la demande en période de pointe. Selon les lectures faites au cours de la saison de chauffage, la température du plancher demeure à 26.6° C et la température ambiante dans l'usine entre 21.1° C et 23.3° C. Des radiateurs-plinthes électriques sont utilisés dans les bureaux adjacents et cinq aérothermes à débit forcé ramènent rapidement la chaleur lorsque les portes de l'usine sont ouvertes.

Coût de fonctionnement: Le chauffage de l'usine est assuré par une puissance de seulement 413 000 kWh par année à raison de 2.5¢ le kWh = $10 325 par année, soit moins de 33¢ le pi².

Coût des travaux d'amélioration: Le coût de l'installation initiale des systèmes électrique et mécanique a été en 1968 de $3.45 le pi².

Recommandation: Étudier la possibilité d'utiliser des systèmes de chauffage à treillis métallique dans le cas de nouvelles installations ou de la modernisation de ces quelques usines dont le plancher doit être refait ou pour lesquelles le treillis métallique offre un avantage économique indéniable et où le plancher est facile d'accès. Dans un grand nombre de secteurs, ce système, utilisé conjointement avec des contrôleurs de délestage, procure un chauffage efficace et économique.

Remplacement du système de chauffage par brûlage des rebuts par un système à treillis métallique

Exposé de la situation: En raison de règlements sur l'environnement, la scierie et l'atelier de rabotage exploités par la société *Luceville Lumber Limited*, à Luceville (Que.), durent cesser de faire brûler de la sciure, de l'écorce et des copeaux de bois. Ces matériaux de rebut furent tous vendus à un moulin de papier avoisinant, mais la société fut obligée de trouver un nouveau moyen de chauffer la scierie, l'atelier de rabotage et les fours.

Mesure prise: Elle décida d'avoir recours à l'énergie électrique. Le four et la scierie furent donc tous deux branchés à un système de chauffage par résistance électrique. Cependant, comme le plancher de béton de l'atelier de rabotage devait être refait et que les couloirs étaient suffisamment larges, on décida d'y installer un système de chauffage à treillis métallique de basse tension (15 W par pi²). Ces deux systèmes étaient contrôlés par un régulateur automatique du courant afin de diminuer les charges maximales d'électricité.

Économie d'argent et d'énergie: Pas disponible.

Coût des travaux d'amélioration: 18 000 pi² × 15 W par pi² au prix de $1.50 le pi² = $27 000 par année.

Recommandation: Le système de chauffage à treillis métallique convient généralement mieux aux nouvelles installations; toutefois, ne pas écarter cette possibilité dans le cas de la modernisation d'anciennes installations.

Tuyaux pour économiser sur le chauffage, l'éclairage et le conditionnement de l'air

Des trucs faciles pour conserver l'énergie

Exposé général

1. Diminuer, dans la mesure du possible, le débit de ventilation et d'évacuation d'air.
2. Fermer toute ouverture ou registre de cheminée non utilisés.
3. Réparer tout laterneau, porte et fenêtre brisés.
4. Éliminer les fenêtres inutiles ou remplacer les fenêtres à vitre simple par des fenêtres à double vitre.
5. Poser des coupe-bise aux fenêtres et aux portes; calfeutrer ou supprimer d'une manière quelconque les fentes dans les parois de l'immeuble.
6. Isoler partout où c'est possible.
7. Augmenter les réglages du thermostat de l'immeuble pendant la saison froide et les diminuer pa saison chaude et ce, dans la plus grande mesure possible.
8. Supprimer le chauffage ou le refroidissement de tout immeuble ou pièce non utilisés.
9. Poser des stores ou des pellicules réfléchissantes aux fenêtres afin de réduire la chaleur solaire l'été.
10. Utiliser des arbres ou des arbrisseaux comme pare-soleil et brise-vent.
11. À l'intérieur et à l'extérieur de l'usine, utiliser des couleurs pouvant réfléchir de façon efficace la lumière et les rayons du soleil.
12. Encourager les employés à porter des vêtements plus chauds ou plus légers selon la saison afin qu'ils s'accommodent des nouveaux réglages de température.
13. Envisager la possibilité d'installer des appareils de chauffage à rayons infrarouges dans les entrepôts et sur les débarcadères.
14. Utiliser des ventilateurs de plafond pour réduire la stratification thermique.
15. Le plus possible, recycler l'air aux fins de chauffage, de ventilation et de climatisation.
16. Remplacer les portes à rideau d'air pulsé par des portes massives.
17. Synchroniser les systèmes de chauffage et de conditionnement de l'air afin d'empêcher qu'ils fonctionnent simultanément.
18. Vérifier auprès de vos fournisseurs ou d'ingénieurs compétents dans quelle mesure l'équipement dépasse vos besoins. Il arrive qu'une chaudière dans un système à chaudières multiples puisse être éliminée par l'utilisation plus efficace des autres.

Systèmes de chauffage

1. S'assurer que l'équipement de chauffage est en bon état; nettoyer réqulièrement toutes les surfaces d'admission d'air et de transmission de chaleur.
2. Installer des dispositifs de récupération de chaleur sur tous les conduits d'air de sortie afin de réchauffer l'air d'entrée.
3. Installer des dispositifs d'allumage automatique aux endroits où des veilleuses à gaz sont utilisées.
4. Interdire l'utilisation de radiateurs portatifs dans les bureaux.
5. Poser des ferme-portes automatiques, des portes pivotantes ou des abris pour les plates-formes de chargement afin d'empêcher que l'air pénètre à l'intérieur.
6. Régler le thermostat à une température moindre pendant la saison chaude. Pour chaque degré de moins la consommation d'énergie diminue d'environ 2½ p. 100.
7. Régler les thermostats à des températures encore plus basses la nuit et les fins de semaine. Utiliser un système à double thermostat pour que ce réglage devienne automatique.
8. Regrouper les employés effectuant des heures supplémentaires dans un endroit chauffé afin de pouvoir baisser la température dans la plus grande partie de l'usine.
10. Étudier la possibilité de modifier le niveau d'humidité afin d'accroître le niveau de confort à des températures plus basses.
11. Interrompre le dispositif de contrôle de l'humidité après les heures de travail.
12. Faire fonctionner les systèmes de ventilation au besoin seulement et non de façon continue.
13. Encourager le port de vêtements plus chauds et autoriser les femmes à se vêtir de pantalons en raison de la diminution de température dans les bureaux.
14. Garder tous les registres d'air propres.
15. Chauffer l'eau en dehors des heures de pointe et l'emmagasiner dans des récipients bien isolés pour utilisation ultérieure.
16. Chauffer l'eau qui n'est pas destinée à la consommation à l'aide du dispositif d'échappement du système de climatisation.
17. Utiliser un échangeur rotatif ou un autre type d'échangeur de chaleur afin de substituer l'air de remplacement à l'air évacué de l'immeuble.

18. Envisager l'utilisation du dispositif d'échappement du système de climatisation comme source de chaleur.

Climatisation de l'air

1. Fermer le système de donditionnement d'air dans tous les endroits inoccupés.
2. S'assurer que le système de conditionnement d'air est en bon état; garder les filtres, les serpentins et les souffleurs propres.
3. Utiliser des refroidisseurs individuels lorsque les locaux ne sont occupés qu'à des heures variées et irrégulières.
4. Restreindre les endroits où les employés peuvent fumer afin de réduire les besoins de ventilation.
5. Nettoyer les condenseurs à air afin de diminuer la consommation énergétique des compresseurs.
6. Utiliser des systèmes de contrôle d'humidité permettant d'élever l'humidité au plus haut degré acceptable; les systèmes qui emploient de l'air réchauffé sont particulièrement avantageux.
7. Réduire la chaleur engendrée par les lumières, la machinerie ou l'équipement en les fermant lorsqu'ils ne servent pas.
8. Laisser les contre-portes et les contre-chassis en place l'été afin d'empêcher la chaleur de pénétrer à l'intérieur.
9. Si le bureau est complètement désert après les heures normales de travail, fermer le système de climatisation au moins une heure avant la fermeture.
10. Si possible, utiliser les appareils générateurs de chaleur, comme les photocopieurs, au début de matinée ou à la fin de l'après-midi.
11. Utiliser des auvents ou des stores pour diminuer la chaleur solaire.
12. Inciter les employés à porter des vêtements plus légers afin de s'accommoder des températures quelque peu plus élevées au bureau ou dans l'usine.
13. Étudier la possibilité d'installer un système de pulvérisation ou une autre méthode d'évaporation d'eau sur le toit afin de réduire les charges de climatisation.
14. Ajuster les registres, les conduits et les serpentins afin de diminuer la résistance de l'air.

Éclairage

1. Éteindre toute lumière inutile.
2. Remplacer les sources de lumière à faible rendement par un éclairage direct à haute intensité, à vapeur de mercure ou de sodium, ou encore par fluorescence.
3. Maintenir les ampoules et les appareils d'éclairage propres et exempts de poussière pouvant empêcher le passage de la lumière.
4. Enlever de manière sélective les lumières et les ballasts aux endroits où les niveaux d'éclairage dépassent les normes établies.
5. Diminuer ou supprimer les lumières décoratives.
6. Installer des cellules photo-électriques pour contrôler l'éclairage extérieur ou périphérique.
7. Utiliser la lumière directe du soleil partout où c'est possible.
8. Diminuer la puissance de l'éclairage où c'est possible.
9. Utiliser des couleurs pâles sur les murs, les plafonds, les planchers et les meubles.
10. Munir les lumières de minuteries aux endroits peu fréquentés de l'usine.
11. Utiliser des interrupteurs automatiques afin d'assurer que les lumières de l'usine soient éteintes une fois la dernière équipe de travail partie.
12. Placer dans les bureaux des interrupteurs permettant d'éteindre les lampes individuelles.
13. Placer les interrupteurs à des endroits évidents.
14. Avoir recours à "l'éclairage d'appoint" partout où c'est possible.
15. Supprimer toute lampe électrique inefficace des catalogues et des stocks de l'usine.
16. Étudier la possibilité de fermer les lumières de l'usine pendant l'heure du dîner.

USAGE DANS LE SI

Quelques unités SI dérivées

Grandeur	Nom de l'unité	Symbole	Equivaut à
force	newton	N	kg·m/s²
pression	pascal	Pa	N/m²
travail, énergie, quantité de chaleur	joule	J	N·m
puissance, flux énergétique thermique	watt	W	J/s
quantité d'électricité	coulomb	C	A·s
potentiel électrique	volt	V	W/A
résistance électrique	ohm	Ω	V/A
capacité électrique	farad	F	C/V
flux d'induction magnétique	weber	Wb	V·s
induction magnétique	tesla	T	Wb/m²
inductance	henry	H	Wb/A
fréquence	hertz	Hz	s^{-1}
flux lumineux	lumen	lm	cd·sr
éclairement	lux	lx	lm/m²

Exemples d'unités SI dérivées exprimées en termes d'autres unités

Grandeur	Description	Expression en d'autres unités SI
superficie	mètre carré	m²
volume	mètre cube	m³
vitesse — linéaire — angulaire	mètre par seconde radian par seconde	m/s rad/s
accélération — linéaire — angulaire	mètre par seconde carrée radián par seconde carrée	m/s² rad/s²
masse volumique	kilogramme par mètre cube	kg/m³
viscosité dynamique	pascal-seconde	Pa.s
moment d'une force	newton-mètre	N.m
densité de flux thermique, éclairement énergétique	watt par mètre carré	W/m²
capacité thermique, entropie	joule par kelvin	J/K
chaleur massique, entropie massique	joule par kilogramme kelvin	J/(kg K)
énergie massique	joule par kilogramme	J/kg
conductivité thermique	watt par mètre-kelvin	W/(m.K)
énergie volumique	joule par mètre cube	J/m³
perméabilité	henry par mètre	H/m
résistance thermique (R)	mètre-kelvin carré par watt	m².K/W.

Unités SI en équivalence communément employées et leurs facteurs de conversion

1 pouce = 25 mm	1 verge cube = 0.76 m³
1 pied = 0.30 m	1 pinte (liq) = 1.1 L
1 verge = 0.91 m	1 gallon = 4.5 L
1 mille = 1.6 km	1 once = 28 g
1 pouce carré = 6.4 cm²	1 livre = .45 kg
1 verge carré = 0.84 m²	1 horsepower (R-U) = 745 W
1 acre = 0.40 ha	1 livre-force = 4.4 N
1 pouce cube = 16 cm³	1 livre-force par pouce carré = 6.8 kPa
1 pied cube = 28 dm³	

Prefixes SI

Facteur de multiplication	Préfixe	Symbole
1 000 000 000 000 000 000 = 10^{18}	exa	E
1 000 000 000 000 000 = 10^{15}	péta	P
1 000 000 000 000 = 10^{12}	téra	T
1 000 000 000 = 10^{9}	giga	G
1 000 000 = 10^{6}	méga	M
1 000 = 10^{3}	kilo	k
100 = 10^{2}	hecto	h
10 = 10^{1}	déca	da
0.1 = 10^{-1}	déci	d
0.01 = 10^{-2}	centi	c
0.001 = 10^{-3}	milli	m
0.000 001 = 10^{-6}	micro	μ
0.000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
0.000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p
0.000 000 000 000 001 = 10^{-15}	femto	f
0.000 000 000 000 000 001 = 10^{-18}	atto	a

Unités pouvant être utilisées avec les unités SI

Grandeur	Nom	Symbole	Définition
temps	minute heure jour	min h d	1 min = 60 s 1 h = 3600 s 1 d = 86 400 s
angle plan	degré minute seconde	° ' "	1° = (π/180) rad 1' = (π/10 800) rad 1" = (π/648 000) rad
superficie	hectare	ha	1 ha = 1 hm² = 10 000 m²
volume	litre	L	1 L = 1 dm³
température	degré Celsius	°C	pour les intervalles de température 1°C = 1 K
masse	tonne	t	1 t = 1000 kg = 1 Mg